Wittwer

[illegible] 16 [illegible]

Lehrbuch der Physik

zum Gebrauche

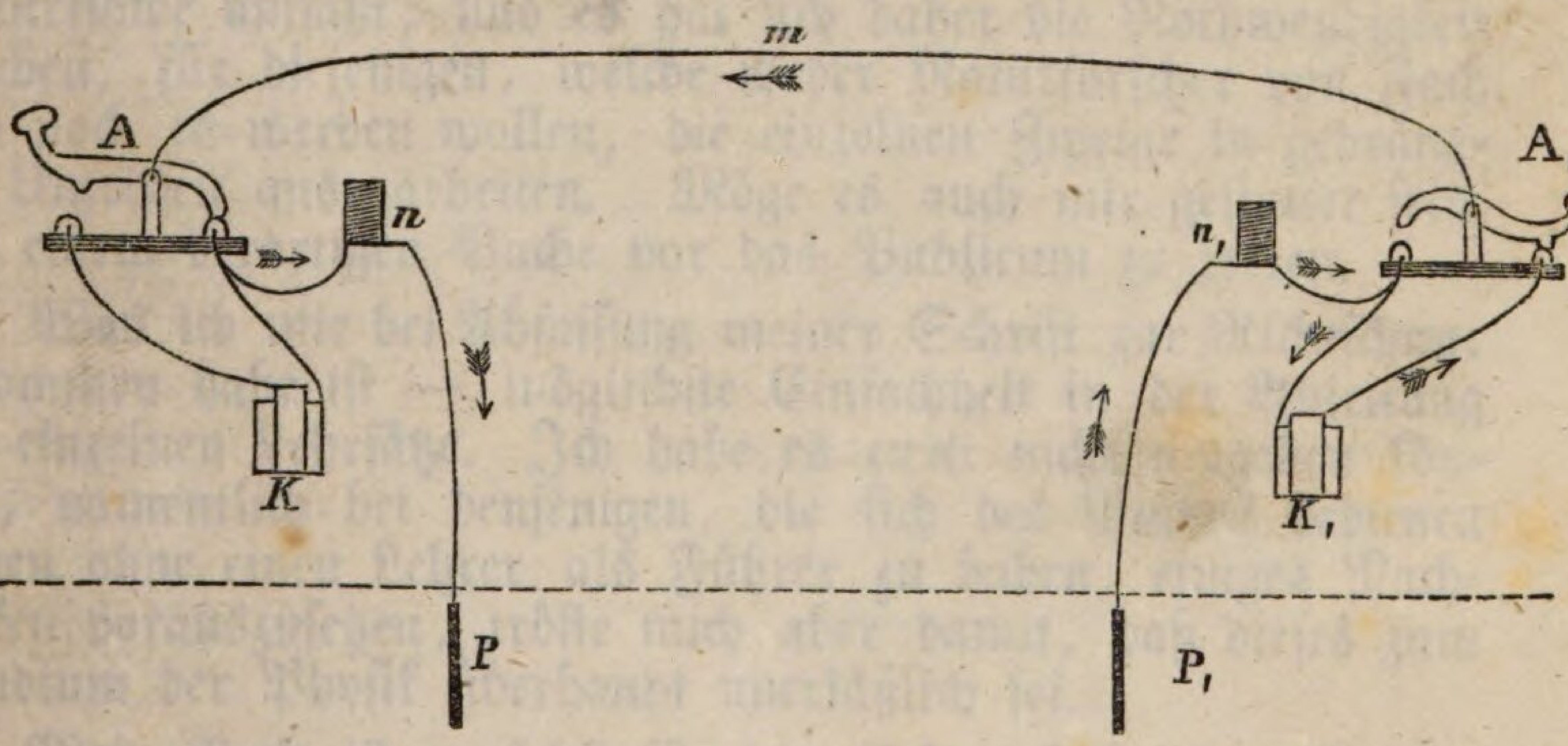
in Schulen und für den Selbstunterricht

bearbeitet

von

Dr. W. C. Wittwer,

königl. Lycealprofessor in Regensburg.



Mit 300 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Regensburg & New-York.

Papier, Druck und Verlag von Friedrich Pustet.

1866.

Vorrede.

Die Naturwissenschaften haben in neuerer Zeit eine Bedeutung erlangt, sie greifen so tief ein in das Leben, daß sich jedem Gebildeten, welchem Stande immer er angehören möge, die Nothwendigkeit aufdrängt, sich mit ihnen bekannt zu machen, und dieses ist auch der Grund, warum sie in den Lehrplänen der Schulen mehr und mehr an Raum gewinnen. Die Physik nimmt unter ihren Schwestern wenn nicht den ersten, doch jedenfalls einen der hervorragendsten Plätze ein, denn sie ist es, deren Aufgaben wir im Leben am öftesten begegnen, ohne sie würde es keinem andern Zweige der Naturwissenschaften gelungen sein, den Standpunkt zu erringen, auf dem wir ihn gegenwärtig sehen.

Bei der großen Masse dessen, was die Naturforscher bisher aufgefunden haben, ist es nachgerade zur Unmöglichkeit geworden, sich alles dessen zu bemächtigen, was die Gesammt-Naturkunde umfaßt, und es hat sich daher die Nothwendigkeit ergeben, für diejenigen, welche weder Naturforscher von Fach sind noch es werden wollen, die einzelnen Zweige in gedrängten Umrissen auszuarbeiten. Möge es auch mir gestattet sein, mit einem derartigen Buche vor das Publicum zu treten.

Was ich mir bei Abfassung meiner Schrift zur Richtschnur genommen habe ist — möglichste Einfachheit in der Ableitung der einzelnen Lehrsätze. Ich habe es zwar nicht umgehen können, namentlich bei denjenigen, die sich des Buches bedienen sollten ohne einen Lehrer als Führer zu haben, einiges Nachdenken vorauszusetzen, tröste mich aber damit, daß dieses zum Studium der Physik überhaupt unerläßlich sei.

Mein Buch ist zunächst für den Gebrauch bei dem Unterrichte bestimmt, und da dieser in Beziehung auf die mathematische Behandlung bald mehr bald weniger weit geht, habe ich die Einrichtung getroffen, daß die mathematischen Ableitungen dem Texte in kleiner Schrift beigefügt sind. Es soll dem Bedürfnisse des Einzelnen überlassen bleiben, wie viel er davon in sein Bereich ziehen will; doch habe ich die höhere Mathe-

matik als für den Zweck des Buches zu weit gehend ausgeschlossen.

Auch die Anwendungen, die man im Leben von den verschiedenen physikalischen Sätzen macht, sind in kleiner Schrift gegeben. Wenn neben solchen, die wie die Dampfmaschine und die electrische Telegraphie in jedem Lehrbuche der Physik vorkommen müssen, auch die eine oder andere steht, welche als Gegenstand des mündlichen Vortrages nicht auch zugleich im Lehrbuche unerläßlich ist, so möge man eine Entschuldigung meines Vorgehens darin finden, daß wohl nicht alle Exemplare des Buches einzig und allein in der Schule benützt werden, und daß dann diese oder jene Andeutung am Platze ist. Ich weiß sehr gut, daß eine strenge Trennung von Theorie und Praxis nicht in allen Fällen durchgeführt werden kann, und daß ich gerade allemal die Ansichten eines jeden Lesers getroffen habe, dürfte sehr zu bezweifeln sein.

Was diejenigen Sätze anbelangt, über welche die Ansichten der Fachmänner auseinander gehen, so habe ich mich zunächst an die Annahmen gehalten, welche die meist verbreiteten sind, ein Eingehen in die verschiedenen Streitigkeiten wurde thunlichst vermieden. Bei dem Abschnitte über die Wärme habe ich mehr als dieses in den übrigen Lehrbüchern der Fall ist, die Réaumur-Scala benützt; ich habe es aus dem Grunde gethan, weil man bei uns an diese Scala allgemein gewohnt ist.

Bei den Figuren habe ich vorzugsweise schematische Darstellungen gewählt, weil ich glaube, daß Anfänger bei complicirteren Zeichnungen das Wesentliche und dessen Zusammenhang weniger leicht finden, und da die Instrumente gleichen Zweckes rücksichtlich der Nebeneinrichtung so manchfach unter einander abweichen, dürfte es vorzuziehen sein, den minder Bewanderten direct auf die Haupttheile hinzuweisen.

Regensburg im Januar 1866.

W. C. Wittwer.

Inhaltsverzeichniß.

Einleitung.

Allgemeine Eigenschaften der Körper und Kräfte.

Statik,

oder die Lehre vom Gleichgewichte der Körper.

Geostatik.

Hydrostatik.

Aërostatik.

Dynamik,

oder die Lehre von der Bewegung der Körper.

Geodynamik, oder die Lehre von der Bewegung der festen Körper.

Hydrodynamik und Aërodynamik,

oder die Lehre von der Bewegung der tropfbarflüssigen und der elastischflüssigen Körper.

Molecular-Statik,

oder die Lehre vom Gleichgewichte der kleinsten Theile der Körper.

Molecular-Dynamik,

oder die Lehre von der Bewegung der kleinsten Theile der Körper.

Vom Schalle.

Das Licht.

Vom Auge und den optischen Instrumenten.

Das Licht als Resultat einer Wellenbewegung.

Die Wärme.

Der Magnetismus.

Die Electricität.

Einleitung.

§. 1. Mit dem Worte **Natur** bezeichnet man die Gesammtheit aller sinnlich wahrnehmbaren Dinge, der **Körper**, und derjenige Theil des menschlichen Wissens, der alles das umfaßt, was uns über die Merkmale der Körper bekannt ist, heißt **Naturwissenschaft** oder **Physik** im weitesten Sinne des Wortes.

Alles das, was wir von der Natur wissen, ist die Frucht der Erfahrungen, welche das Menschengeschlecht im Laufe der Jahrhunderte gesammelt und geordnet hat, und da dieses Zuwachsen von Erfahrungen ein fortdauerndes ist, können wir die Naturwissenschaft nicht als etwas Fertiges sondern als etwas Auszubauendes also Unvollständiges betrachten, als ein Gebäude, zu dem jede Generation ihre Bausteine beitragen muß.

Im Laufe der Jahrhunderte hat sich die Masse der gesammelten Erfahrungen beträchtlich vergrößert, und daraus ergab sich die Nothwendigkeit, der leichteren Uebersichtlichkeit wegen das Gesammtgebiet in verschiedene Theile zu zerlegen. Dadurch sind aus der ursprünglichen Naturwissenschaft die **Naturwissenschaften** geworden. Diese Sonderung ist jedoch nicht in der Natur selbst begründet, weßhalb auch jede Eintheilung eine künstliche und unvollkommene bleiben wird, so daß stets das eine Gebiet mehr oder weniger in die benachbarten eingreift.

§. 2. Wir können uns darauf beschränken, die einzelnen Körper zu dem Zwecke zu beschreiben, d. h. ihre äußeren Merkmale anzugeben, um sie von einander zu unterscheiden und sie nach ihrer größeren oder geringeren Aehnlichkeit in Reiche, Klassen u. s. w. einzutheilen. In dieser Weise uns beschäftigend treiben wir **Naturgeschichte** oder **Naturbeschreibung**. Gehen wir einen Schritt weiter, beschränken wir uns nicht darauf, einfach davon Kenntniß zu nehmen, welche Verschiedenheiten der Körper vorkommen, sondern fragen wir: Wie

haben sich diese Körper gebildet? Was ist die Ursache dieser oder jener Art ihres Auftretens? so beschäftigen wir uns mit einem andern Zweige der Naturwissenschaften, der Naturlehre.

Die Naturgeschichte theilt die Körper in organische und unorganische, je nachdem sie gesonderte, unter einander verschiedene aber doch sich gegenseitig bedingende Theile (Organe) besitzen oder nicht, und ebenso trennt die Naturlehre die Physiologie, welche sich mit den organischen Körpern beschäftigt, von der Physik und Chemie, welche zusammen bis zu einem gewissen Grade die Physiologie der unorganischen Körper genannt werden können.

Die Physik lehrt die Eigenschaften, welche den Körpern als Ganzen zukommen, während die Chemie gewissermaßen in deren Inneres dringt und die Zusammensetzung der von der Physik mehr von Außen betrachteten Körper untersucht. Es gibt keine strenge Gränze zwischen Physik und Chemie, eigentlich ist letztere ein allerdings ausgedehnter Theil der Physik, und der Berührungspuncte beider sowie der gemeinschaftlichen Gebiete werden es von Tag zu Tag mehr. Die Astronomie ist eine specielle Anwendung der Lehren der Physik auf die Sternenwelt, ist also ebenfalls nur als ein Zweig der eigentlichen Physik zu betrachten.

§. 3. Während die Naturgeschichte sich damit beschäftigt, das Verzeichniß der verschiedenen Naturgegenstände aufzunehmen, und von den Veränderungen ihres Zustandes soviel als möglich absieht, berücksichtigt die Naturlehre also auch die Physik gerade diese Veränderungen, die Naturereignisse oder Naturerscheinungen, welche sich wieder in verschiedener Weise auffassen lassen. Wir können

a) uns damit begnügen, von irgend einem Vorfalle Kenntniß zu nehmen und möglichst alle Umstände anzugeben, von denen er begleitet, oder durch welche er bedingt war;
b) den Zusammenhang einer Reihe von verschiedenen Vorgängen suchen;
c) den Grund angeben, warum diese oder jene einzelne Erscheinung oder Reihe von Erscheinungen eingetreten sei.

So hat man sich seit dem grauen Alterthume damit beschäftigt, die Stellen anzugeben, an welchen die einzelnen Planeten am Himmel gesehen wurden. Daß der Stern gesehen wird, ist eine Naturerscheinung, deren nähere Umstände durch Angabe der Zeit, in welcher, und des Ortes, an welchem man den Stern sah, erkannt wurden. (Erste

Stufe). Kepler hat gefunden, daß alle Orte, die ein Planet nach und nach einnimmt, in einer Ellipse liegen, er hat auch das Verhältniß der Geschwindigkeiten der einzelnen Planeten bestimmt. Damit hat er die Norm, das Gesetz, angegeben, nach dem die genannten Sterne sich bewegen, und dadurch hat er es möglich gemacht aus früher gemachten Beobachtungen den Ort eines Sternes für einen gegebenen Zeitpunct zu bestimmen, ohne daß für diesen Zeitpunct eine eigene Beobachtung nöthig wäre. Dadurch, daß man das Gesetz kennt, nach dem sich eine Reihe von Erscheinungen richtet, ist man in die Möglichkeit versetzt, eine solche Erscheinung vorauszubestimmen. (Zweite Stufe). Newton ist es gelungen, die Ursache aufzufinden, warum die Sterne die von Kepler beobachtete Ellipse beschreiben, und damit ist die Aufgabe, welche sich die Naturlehre gestellt hat, für die gegebene Klasse von Erscheinungen gelöst. (Dritte Stufe).

Die drei zunächst verwandten Zweige der Naturlehre, Astronomie, Physik und Chemie haben bis jetzt in der Lösung der ihnen gestellten Aufgabe je nach der Schwierigkeit derselben verschiedene Erfolge erzielt. Am weitesten vorgerückt ist die Astronomie, welche der Hauptsache nach die dritte der vorerwähnten Stufen erreicht hat, während die Chemie sich nur ausnahmsweise über die erste erhebt und die Physik zwischen beiden die Mitte hält.

§. 4. Soll eine Naturerscheinung, also irgend ein Vorgang stattfinden, so ist nothwendig, daß etwas vorhanden sei, mit dem eine Veränderung vorgeht, das vor und nach der Erscheinung sich in einem verschiedenen Zustande befindet und dieses Etwas heißt Materie oder auch Stoff, mit welchem Namen wir alles bezeichnen, was unsern Sinnen wahrnehmbar ist. Die Materie für sich ist todt, d. h. sie ändert sich nicht ohne äußere Veranlassung, und das, was sie dazu bringt, die Aenderung zu bewerkstelligen, heißt Kraft, als welche wir die sinnlich nicht wahrnehmbare Ursache der vorgekommenen Aenderung zu betrachten haben. In welchem Zusammenhange Kraft und Materie stehen, wie sie auf einander wirken, ist zur Zeit unbekannt. Der Physiker beschränkt sich darauf, beide als gegeben anzunehmen, sie als nach bestimmten Gesetzen auf einander wirkend zu denken, und aus diesem Zusammenwirken die jeweiligen Erscheinungen abzuleiten, d. i. zu erklären. Er schließt aus der Erscheinung zurück auf die Kraft, oder bestimmt, wenn Kraft und Materie gegeben sind, die Art und Weise der Erscheinung.

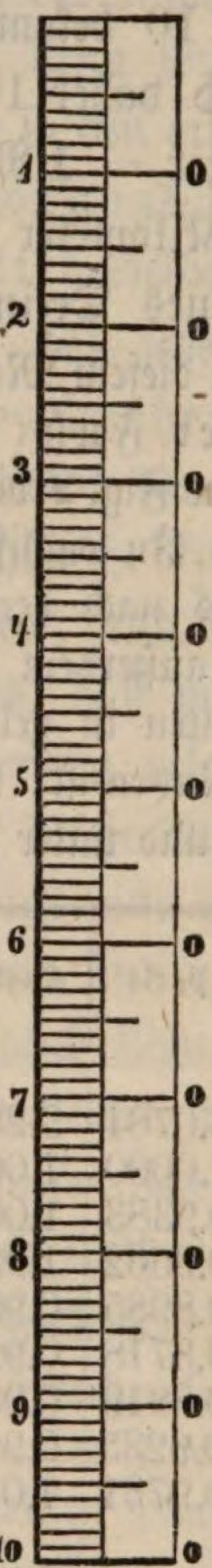
§. 5. Alle vorkommenden Erscheinungen erklären zu können ist das Ideal, welches der Physiker zu erreichen strebt; aber zur Zeit ist die Wissenschaft noch weit von diesem Ziele entfernt, und man sieht sich daher genöthigt, für viele Erscheinungen unbewiesene Sätze, Hypothesen, aufzustellen, um von diesem Standpuncte aus möglichst viele derselben wie von einem wirklichen Naturgesetze abzuleiten. Es muß hiebei späteren Erfahrungen überlassen bleiben, ob eine Hypothese als begründet anzuerkennen sei, ob man sie modificiren oder fallen lassen müsse, und wenn dereinst die Physik der sämmtlichen Hypothesen entbehren kann, so hat sie die dritte der im vierten Paragraphe aufgeführten Stufen erreicht.

§. 6. Der Weg, auf dem die Physik ihre Erfahrungen sammelt, ist je nach den Umständen verschieden. Das ursprünglichste Verfahren ist die einfache Kenntnißnahme von irgend einer Erscheinung nebst den sie begleitenden Umständen, also die einfache Beobachtung, worauf es der Thätigkeit des Geistes überlassen bleibt, durch Induction den Zusammenhang mehrerer beobachteter Erscheinungen herauszufinden. Oft bietet die Natur für sich nicht Gelegenheit genug, um eine gehörige Menge geeigneter Beobachtungen zu machen, und der Physiker muß alsdann die gewünschten Erscheinungen künstlich hervorzurufen suchen, indem er selbst die Bedingungen herstellt, unter welchen die gesuchte Beobachtung zu erzielen ist: er muß einen Versuch, ein Experiment machen.

Entgegengesetzt diesem empirischen Verfahren ist das speculative. Man macht irgend geeignet scheinende Voraussetzungen, aus denen man, sei es durch reine Vernunftschlüsse, sei es auf mathematischem Wege, die Consequenzen abzuleiten sucht. Man erhält auf diesem Wege allgemeinere Resultate; wenn aber an den Voraussetzungen nur das Geringste mit der Natur nicht in Uebereinstimmung ist, so werden auch alle daraus gezogenen Schlüsse unrichtig sein, und das gewöhnliche Verfahren ist daher eine Verbindung der beiderlei Methoden, indem man zwar Logik und Mathematik benützt, aber fortwährend durch Versuche und Beobachtungen die Natur befragt, um sich von derselben nicht zu entfernen.

Allgemeine Eigenschaften der Körper und Kräfte.

§. 7. Es gibt gewisse Merkmale, ohne welche wir uns einen Körper gar nicht denken können, die wir daher als wesentliche bezeichnen müssen, und außerdem finden wir andere, die fast eben so allgemein sind, die aber doch fehlen können, ohne daß der Körper aufhören würde, ein solcher zu sein, und die daher als zufällige oder außerwesentliche zu betrachten sind.



Die wesentlichen Merkmale der Körper sind: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit und Gestalt, die außerwesentlichen sind: Theilbarkeit, Porosität, Ausdehnbarkeit, Beweglichkeit und Trägheit.

§. 8. Ein Körper ohne Ausdehnung wäre sinnlich gar nicht wahrnehmbar, und die größte Menge solcher Körper beisammen gedacht würde niemals auch nur den kleinsten Theil des Raumes einnehmen, würde also niemals Naturkörper darstellen, als welche wir die sinnlich wahrnehmbaren Gegenstände betrachten.

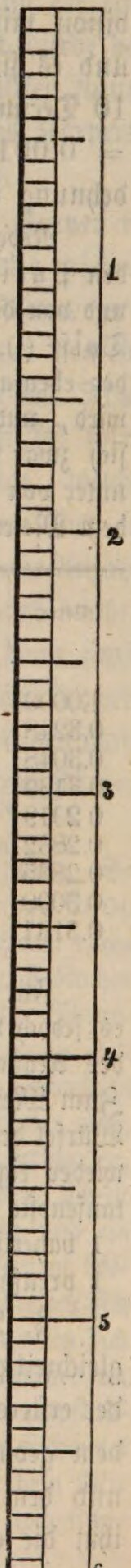


Fig. 1 u. 2.

Die Größe des von einem Körper eingenommenen Raumes heißt sein Volumen, das sich aus den 3 Dimensionen der Höhe, Breite und Länge berechnet, und durch deren Bestimmung der Körper gemessen wird. Zu diesem Zwecke wird die gegenseitige Entfernung zweier Puncte, deren Wahl eigentlich gänzlich freigegeben ist, als Einheit angenommen und dann angegeben, wie oft dieselbe in der zu messenden Größe enthalten sei. Um die Resultate der von verschiedenen Beobachtern gemachten Messungen unter einander vergleichen zu können ist es nöthig, sich über die Maaßeinheit zu verständigen und in der Wissenschaft bedient man sich hiezu zumeist des während der ersten französischen Revolution eingeführten Meters, welches der zehnmillionte Theil des Erdmeridian-Quadranten, des Bogens zwischen Pol und Aequator der Erde ist. Durch fortgesetzte

Multiplication dieser Einheit mit 10 erhält man der Reihe nach das Decameter, Hectometer, Kilometer, Myriameter, durch fortgesetzte Division mit 10 bekommt man das Decimeter, Centimeter, Millimeter und es sind daher 1000 Millimeter (^{mm}) = 100 Centimeter (^{cm}) = 10 Decimeter = 1 Meter (^{m}) = 0.1 Decameter = 0.01 Hectometer = 0.001 Kilometer = 0.0001 Myriameter. In Fig. 1 ist die Ausdehnung eines Decimeters mit den Unterabtheilungen angegeben.

Neben diesem Metermaaße findet man in wissenschaftlichen Werken noch den Pariser Fuß ('), der sich in 12 Zolle (") zu 12 Linien (''') theilt und von dem Fig. 2 die Hälfte darstellt. Die Länge von 6 Pariser Fuß heißt Toise (^{t}). In englischen Schriften kommt noch der englische Fuß vor, der ebenfalls nach dem Duodecimalsystem in Zolle und Linien eingetheilt wird, und außerdem sind in andern Staaten andere Fußmaaße üblich, die sich zwar selten in gelehrte Werke verirren, deren Kenntniß aber doch mitunter von Nutzen ist, weßhalb in nachstehender Tabelle einige derselben mit dem Meter und unter sich verglichen sind.

Meter	Paris	England	Preußen, Rheinland	Bayern	Sachsen	Württemberg	Baden, Schweiz	Oesterreich (Wiener-Fuß)
1.0000	3.0784	3.2809	3.1862	3.4263	3.5312	3.4905	3.3333	3.1634
0.3248	1.0000	1.0658	1.0350	1.1130	1.1471	1.1339	1.0828	1.0726
0.3048	0.9383	1.0000	0.9171	1.0443	1.0763	1.0639	1.0160	0.9642
0.3139	0.9662	1.0297	1.0000	1.0754	1.1083	1.0955	1.0462	0.9929
0.2919	0.8985	0.9576	0.9299	1.0000	1.0306	1.0187	0.9729	0.9233
0.2832	0.8718	0.9291	0.9023	0.9703	1.0000	0.9885	0.9440	0.8959
0.2865	0.8819	0.9399	0.9128	0.9816	1.0117	1.0000	0.9550	0.9063
0.3000	0.9235	0.9843	0.9559	1.0279	1.0594	1.0472	1.0000	0.9490
0.3161	0.9731	1.0371	1.0072	1.0831	1.1163	1.1034	1.0537	1.0000

Für größere Dimensionen ist das gebräuchlichste Maaß die Meile, deren es jedoch verschiedene gibt. Die deutsche Meile, deren 15 auf einen Grad des Aequators gehen, hat 22842.5 pariser Fuß oder 7419.24 Meter. Zum Messen von Flächen und Körpern nimmt man die Quadrate und Würfel der vorstehenden Einheiten; doch findet man für Flüssigkeiten hin und wieder eigene Hohlmaaße angegeben. Am gebräuchlichsten ist das Liter, der tausendste Theil eines Cubikmeters, außerdem mögen noch Erwähnung finden

1 bayerische Maaß = 1.071 Ltr. 1 englisches Gallon = 4.543 Ltr.
1 preußisches Quart = 1.145 „ 1 badische Maaß = 1.500 „

§. 9. Erfüllt ein Körper irgend einen Raum, so kann nicht gleichzeitig noch ein anderer in demselben Raume sein, denn sonst würde der erstere ihn nicht erfüllen. Es beruht hierauf der Unterschied zwischen dem geometrischen Körper, bei dem wir eigentlich nur Umrisse haben, und dem physischen, dessen Eigenthümlichkeit darauf beruht, daß in ihm die einen Raum erfüllende Materie ist.

§. 10. Hat man irgend einen den Raum erfüllenden Körper, so wird man vom Innern desselben ausgehend in jeder Richtung an eine Stelle kommen, wo die Raumerfüllung aufhört, denn sonst würde der Körper unendlich groß sein. Die Stellen, welche so den erfüllten Raum von dem nichterfüllten abschließen, bilden die Gränze des Körpers, und die Form der Gränze bedingt die Gestalt desselben.

§. 11. Es ist eine Sache der Erfahrung, daß jeder Körper in mehrere Theile getrennt werden kann, daß also alle theilbar seien. Nach mathematischen Begriffen geht die Theilbarkeit der Körper in's Unendliche; doch lassen sich sehr leicht solche physische Körper denken, welche eine weitere Trennung nicht mehr zulassen, und in der That geht die heutige Chemie von dem Grundsatze aus, daß man bei fortgesetzter Theilung endlich zu ganz kleinen Körperchen gelange, welche sich nicht weiter trennen lassen, den Atomen. Diese Atome sind so klein, daß sie unsern Sinnen entschwinden, und erst eine große Anzahl derselben, die in irgend einem Raume versammelt sind, wird wahrnehmbar. Sie sind sehr klein, aber nicht unendlich klein, denn sonst könnte auch ein Aggregat einer großen Anzahl derselben nicht bemerkt werden. Wäre übrigens die Theilbarkeit eine wesentliche Eigenschaft der Körper, so würden abgesehen davon daß sich untheilbare Körper recht gut denken lassen, die Atome gar nicht möglich sein.

Die Theilbarkeit geht bei manchen Körpern außerordentlich weit. So läßt sich ein Ducaten zu Goldblättchen verarbeitet zu einer Fläche von 2000 Quadratzoll ausdehnen. Wollaston goß um einen dicken Platindraht einen Cylinder von Silber, welchen er in dünnen Draht auszog. Durch Kochen mit Salpetersäure wurde nun das Silber entfernt, und es blieb der Platinkern als ganz dünner Draht zurück, der nur eine Dicke von $^1/_{30000}$ Zoll hatte. Ein solcher Draht ist nur dann sichtbar, wenn er glüht. Untersucht man einen Tropfen Wasser mit Hülfe des Sonnenmicroscops, so findet man, daß sich in demselben eine ganze Welt von kleinen Thierchen, den Infusorien, herumtreibt, die alle wieder Organe, also von einander verschiedene Theile haben. Ein Gran Carmin färbt 20 Pfunde Wasser merklich roth und ein ganz kleines Stückchen Moschus erfüllt ein ganzes Zimmer mit seinem Geruche, der trotz häufigen Luftwechsels Jahre lang anhält. Es verbreiten sich hier fortwährend kleine Theilchen des Moschus in die Luft und machen sich dem Geruchssinne bemerkbar, aber diese sind so fein, daß der Moschus an seinem Gewichte nichts verliert, daß also der Verlust selbst durch eine empfindliche Wage nicht nachgewiesen werden kann. Der Zinnober besteht aus Schwefel und Quecksilber; allein das feinste Pulver desselben erscheint unter dem Microscope noch völlig gleichartig, es sind daher selbst die kleinsten noch sichtbaren Theilchen des Zinnobers zusammengesetzt.

§. 12. Die einzelnen einen Körper constituirenden Atome legen sich nicht unmittelbar an einander, sondern lassen Räume zwischen sich, die **Poren**, und bedingen so die **Porosität** der Körper. In diese Poren, also diese leer gelassenen Theile können dann andere Körper eindringen; doch widerspricht dieses dem Satze von der Undurchdringlichkeit nicht, denn es würde dieses erst dann geschehen, wenn der fremde Stoff auch den von den Atomen eingenommenen Raum besetzen würde. Bei manchen Körpern kann man die Poren ohne alle Mühe wahrnehmen, wie z. B. bei dem Tuffstein, Badeschwamm, bei andern sind die Poren so klein, daß man sie nicht unmittelbar sehen kann. Die Naturkörper, mit denen die Physik zunächst zu thun hat, sind sonach Aggregate von durch Zwischenräume von einander getrennten Atomen.

Wenn Zucker in Wasser getaucht wird, so sind es die Poren, durch welche das letztere dringt. Wasser läuft durch die Poren des ungeleimten Papieres wie durch ein Sieb. Ebenso kann man Quecksilber bei ziemlich schwachem Drucke durch die Poren des Leders, bei etwas stärkerem durch die von Holz treiben. Wenn eine Flüssigkeit ein Salz auflöst, so ist der Raum, den die Lösung einnimmt, im Allgemeinen kleiner als die Summe der Volumina, welche den gesonderten Körpern zukam. Es muß daher bei der Lösung wenigstens ein Theil des Salzes in die Poren der Flüssigkeit eingedrungen sein. Metalle zeigen bei der bloßen Betrachtung keine Poren; aber eine mit Wasser gefüllte und fest verschlossene Kugel von Metall läßt bei starkem Drucke ihren Inhalt wie einen feinen Thau durchdringen. Es ist dieses wenigstens für das Gold durch einen Versuch bewiesen, der 1661 von den Mitgliedern der Academie zu Florenz ausgeführt wurde. Durch die Poren unserer Haut dringt der Schweiß.

§. 13. Jeder Körper, als Aggregat von Atomen betrachtet, hat das Vermögen, unter Umständen sein Volumen zu vergrößern oder zu verkleinern, indem sich die Atome von einander entfernen oder sich nähern, und der Körper ist daher **ausdehnbar** und **zusammendrückbar**. Wird ein Körper kleiner, so nimmt die Größe der Poren ab, wächst sein Volumen, so entfernen sich die kleinsten Theilchen von einander, es wachsen also die Poren.

So kann der Badeschwamm auf ein verhältnißmäßig sehr kleines Volumen zusammengedrückt werden. Aber auch solche Körper, deren Poren nicht unmittelbar sichtbar sind, können ihr Volumen ändern. Betrachtet man z. B. ein gewöhnliches Thermometer, so findet man leicht, daß das Quecksilber bald einen größeren bald einen kleineren Theil der Röhre einnimmt, und man mag die Ursache davon in das einschließende Glas oder in das eingeschlossene Quecksilber legen, d. h. man mag annehmen, der von dem Glase

eingeschlossene Raum sei kleiner oder das den Raum ausfüllende Quecksilber sei größer geworden, eine Volumänderung wird jedenfalls als nächste Ursache des Steigens oder Fallens des Quecksilbers angenommen werden müssen.

§. 14. Jeder Körper kann sich in verschiedenen Zeiten an verschiedenen Punkten des Raumes befinden, ist daher beweglich, macht Bewegungen.

Unter Bewegung eines Körpers verstehen wir den Vorgang, daß derselbe von dem einen Orte zum andern übergeht, indem er in den nach einander folgenden Zeittheilchen der Reihe nach neben einander liegende Theile des Raumes erfüllt. Die einzelnen nach und nach eingenommenen Puncte geben zusammen die Richtung der Bewegung, die Bahn, welche der Körper beschrieben hat und die Länge dieser Bahn, des Weges, welcher in einer Secunde, einer Stunde u. s. w. zurückgelegt wurde, gibt das Maaß für die Geschwindigkeit. Je größer bei gleicher Zeitdauer der Weg, um so größer die Geschwindigkeit. Will man sich einen Begriff von der Geschwindigkeit irgend eines Körpers machen, so müssen zwei Größen gegeben sein, der zurückgelegte Weg und die hiezu verwandte Zeit. Sehr häufig wird bei Geschwindigkeitsmessungen nur der Weg angegeben, wobei dann vorausgesetzt wird, daß dieser Weg der in einer Secunde zurückgelegte sei.

§. 15. Man unterscheidet eine absolute Bewegung und eine relative (auf irgend einen Vergleichungspunct bezogene) Bewegung. Betrachtet man von einem (sogenannten) festen Standpuncte etwa einem Berge aus einen andern festen Gegenstand, allenfalls ein Haus, so wird letzteres von ersterem aus immer in der nämlichen Richtung zu sehen sein und die Entfernung beider ist immer die nämliche. Das Haus ist mithin in Beziehung auf den Berg im Ruhezustand; allein diese Ruhe ist keine absolute, sondern nur eine relative, denn während derselben nimmt das Haus Antheil an der Umdrehung der Erde um ihre Axe, und an deren Umlauf um die Sonne. Das Haus ist relativ gegen den Berg in Ruhe, gegen den Mittelpunkt der Sonne in Bewegung, und solange die Sonne sich stets an demselben Puncte im Raume aufhält, ist diese relative Bewegung des Hauses auch seine absolute. Aber auch die Sonne ist nicht fest, so wenig dieses von irgend einem anderen Sterne gesagt werden kann. Kennt man die relative Bewegung des Hauses gegen den Sonnenmittelpunct, so wird durch Zusammenstellung derselben mit der absoluten Bewegung des Sonnenmittelpunctes die absolute Bewegung des Hauses zu erhalten sein.

Da alle Körper auf der Welt in Bewegung sind, so ergibt sich zuletzt, daß wir die absolute Bewegung keines Körpers kennen, weßhalb wir stets nur mit einer relativen zu thun haben. Man nimmt irgend einen geeigneten Gegenstand als ruhend an und bestimmt Bewegung und Geschwindigkeit eines andern in Beziehung auf diesen. Soll z. B. die Bewegung eines Eisenbahntrains, eines Vogels u. s. w. bestimmt werden, so wird die Erde als ruhend angenommen, für die Bewegung der Erde oder irgend eines Planeten denkt man sich die Sonne als fest u. s. w.

Beispiele von Geschwindigkeiten in einer Secunde und in Pariser Fußen.

Schnecke	0.005	Adler	95
Fußgänger	5	Brieftaube	110
Mäßiger Wind	10	Orcan	150
Dampfschiff	15	Büchsenkugel (bis zu)	1500
Sturm	50	Kanonenkugel (bis zu)	2500
Locomotive	45—100	Mittelpunkt der Erde	94825
Englische Rennpferde	40—70		

§. 16. Kein Körper geht ohne äußere Veranlassung von dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung über, ist er aber einmal in Bewegung, so behält er diese sowohl was Richtung als auch was die Geschwindigkeit anbelangt so lange unverändert bei, bis eine weitere von außen kommende Einwirkung ihn veranlaßt, davon abzugehen. So einleuchtend der erste Theil des vorstehenden Satzes ist, da wir jederzeit die Beobachtung machen können, daß kein Körper von selbst zu laufen anfängt, so sonderbar klingt dem Anfänger der zweite Theil, weil er tagtäglich das Gegentheil wahrzunehmen glaubt. Wenn man einem auf der Ebene stehenden Wagen einen Stoß gibt, so läuft er wohl eine kleine Strecke weit fort; allein verharrt er stets bei seiner Bewegung, läuft er immer fort, wie der oben ausgesprochene Satz es erwarten läßt? Sicherlich nicht. Der in die Höhe geworfene Stein ist ebenfalls weit entfernt, seiner ursprünglichen Bewegung treu zu bleiben, derzufolge er sich immer weiter von der Erde entfernen und zuletzt in den Räumen des Himmels verlieren würde. Er beschreibt einen Bogen und fällt dann wieder zur Erde herab. Es möge hier genügen anzugeben, daß Veranlassungen von der ursprünglichen Bewegung abzugehen allerdings vorhanden sind, doch können diese erst später besprochen werden. Der Umstand, daß solche theils die Richtung theils die Geschwindigkeit modificirende Einflüsse sich allenthalben einstellen, ist die

Ursache, daß die stete Fortdauer derselben Bewegung nirgends in der Welt möglich ist.

Verzichtet man auf die im Ideale nie zu erreichende ewige Fortdauer der Bewegung, so gibt es Erscheinungen in Hülle und Fülle, welche uns auf das Gesetz der Trägheit hinweisen. Fahren wir in einem Wagen, etwa auf der Eisenbahn, so wird uns durch den Wagen eine Bewegung mitgetheilt, mit der wir vorwärts kommen. Machen wir in dem Wagen einen Sprung senkrecht in die Höhe, so kommen wir doch auf dieselbe Stelle des Wagens wieder herab, von der wir ausgingen, obwohl der Wagen während wir uns in der Luft befanden, vorwärts gegangen ist, und wir sind daher nicht senkrecht in die Höhe gesprungen, sondern haben einen Bogen gemacht. Springen wir aus dem in vollem Laufe befindlichen Wagen hinaus, so wohnt uns diese Bewegung auch inne und wir kommen nicht an derselben Stelle auf dem Boden an, wo wir den Wagen verließen, sondern weiter vorwärts. Erreichen die Füße den Boden, so wird ihre Bewegung in der Richtung des Wagens alsbald gehemmt, während der Oberleib diese Hemmung noch nicht verspürt und die Folge ist ein Umfallen in der Richtung, daß der Kopf gegen den Ort hin liegt, nach dem die Bewegung gerichtet war. Je größer die Geschwindigkeit, um so härter der Fall, und daraus erklären sich die Unglücksfälle, die dem Ausspringen aus den Wagen so häufig folgen. Die Locomotive theilt allen Waggons des Zugs und allen auf demselben befindlichen Gegenständen ihre Bewegung mit. Trifft die Maschine plötzlich ein Hinderniß, welches sie zum Stillstand nöthigt, so hat noch der ganze Zug seine Bewegung, die hintern Glieder stürzen sich mit aller Gewalt auf die vordern und es entsteht eines der Unglücke, die sich so häufig auf Eisenbahnen ergeben. Will man daher halten, so darf dieses nicht plötzlich geschehen, man muß durch Bremsen u. dgl. die Geschwindigkeit mehr und mehr vermindern, bis man endlich ohne Gefahr stehen kann. Wer läuft und mit seinen Füßen plötzlich stecken bleibt, fällt nach vorwärts, weil seinem Oberleib die mitgetheilte Bewegung noch inne wohnt, und derselbe wegen der Trägheit nach vorwärts drängt. Der Stein, den wir in die Höhe werfen, die losgeschossene Kugel, der Pfeil laufen vermöge der mitgetheilten Bewegung noch lange fort, auch wenn sie von der Hand oder dem Geschoße nicht mehr getrieben werden.

§. 17. Soll irgendwo in der Natur eine Erscheinung eintreten, so ist nothwendig, daß auf die für sich todte Materie eine Kraft einwirke, d. h. eine Ursache, welche die Materie veranlaßt, irgend eine Bewegung zu machen. Wir können die Kräfte nicht sinnlich wahrnehmen, aber wir schließen auf ihre Existenz aus der Beobachtung der rings um uns vor sich gehenden Erscheinungen.

Aus der Verschiedenheit der beobachteten Erscheinungen ziehen wir den Schluß, daß es auf der Welt mehrere von einander wesentlich abweichende Kräfte gebe, von denen jede die ihr unterworfenen Stoffe zu einer andern Bewegung veranlaßt. Obwohl mancher Vorgang irgend

einer Kraft zugeschrieben wird, der man sogar einen besondern Namen beilegt, die aber eigentlich nur eine Combination von ein paar andern ist, und sich darum in den Büchern manche Kraft verzeichnet findet, die strenge genommen als eine eigenthümliche nicht existirt, so haben wir doch jedenfalls 2 verschiedene Arten von Kräften: die eine sucht die ihr unterworfenen Körper einander näher zu bringen, die andere strebt, sie von einander zu entfernen. Uebt eine Kraft auf einen Körper ihren Einfluß aus, so wird dieser sich nach einer bestimmten Richtung bewegen oder wenn er daran verhindert wird, andere Erscheinungen veranlassen, die darauf hindeuten, und daraus schließen wir dann auf die Richtung der Kraft, während die Geschwindigkeit, mit der die Bewegung ausgeführt wird, uns über die Intensität der Kraft Aufschluß gibt.

§. 18. Die Art und Weise, wie die Kräfte im Innern der Körper wirken, wie sie die gegenseitigen Beziehungen der Atome vermitteln, ist zur Zeit noch wenig bekannt; untersucht man aber die Körper, wie sie sich unsern Sinnen darbieten, so zeigt sich, daß sie alle eine und dieselbe Norm befolgen, daß sie sich anziehen, und die Kraft, welche sie veranlaßt sich einander zu nähern, heißt die Schwere oder Schwerkraft.

Die Anziehung, die zwischen 2 Körpern stattfindet, wächst wie das Product aus den Zahlen der materiellen Theilchen, wie das Product der Massen, die an der Anziehung Theil nehmen, und wenn man die Anziehung, welche eine als Einheit der Masse angenommene Menge materieller Substanz zeigt, mit K bezeichnet, die Zahl dieser Einheiten, die in den beiden sich anziehenden Körpern vorhanden sind, mit m und M, so erhalten wir als Größe der Anziehung das Product KMm. Die jeweilige Geschwindigkeit, welche die beiden sich anziehenden Körper haben, ist um so größer, je bedeutender die Kraft ist, welche sie veranlaßt und je weniger Massentheilchen sich in diese Anziehung zu theilen haben, und darum wird für je einen unserer beiden Körper die Größe

$$\frac{KMm}{m} = KM \text{ und } \frac{KMm}{M} = Km$$

ein Maaß für die Geschwindigkeit sein.

Wenn sich an zwei von einander verschiedenen Orten je eine gleiche Menge materieller Substanz A und B befindet, so wird sich A gegen B und B gegen A bewegen, und diese Bewegung wird so lange fortdauern, bis die beiden Körper bei einander angelangt sind. A wirkt auf B gerade so wie

dieses auf A und die Geschwindigkeit der Körper ist daher in jedem Augenblicke für beide gleich, weil beide dem nämlichen Einflusse unterliegen. Der Punct, wo sie zusammenstoßen, liegt genau in der Mitte der geraden Linie, welche ihre ursprünglichen Orte verbindet. Sind in A zwei Einheiten materieller Substanz, während in B nur eine einzige ist, so wird B von jedem A und auch jedes A von B angezogen, es ist also die wirkende Kraft doppelt so groß als vorher. Weil auf B zwei A wirken, so bekommt es auch zwei Geschwindigkeiten, es bewegt sich also doppelt so schnell als vorher, während auf jedes A nur eine Anziehung ausgeübt wird, weßhalb beide sich mit der Geschwindigkeit 1 gegen B bewegen. Die Kraft, welche A gegen B zieht, ist eben so groß als die von B gegen A, weil aber diese Kraft sich bei A auf 2 Einheiten materieller Substanz vertheilt, ist die dortige Geschwindigkeit nur halb so groß als die von B und treffen die beiden Körper auf einander, so hat A ein Drittheil B zwei Drittheile der ursprünglichen Entfernung durchlaufen. Sind in A 3, 4, 5 . . . m Masseneinheiten, so ist die Anziehung auf B eine 3, 4, 5 . . . mfache und dasselbe findet auch in Beziehung auf die Bewegung statt. Auch auf A wirkt dann die 3, 4, 5 . . . mfache Anziehung, weil jedes seiner Theilchen davon getroffen wird, aber jedes ist nur der Einwirkung eines einzigen B unterworfen, und daher wird auch seine Bewegung sich gegen früher nicht geändert haben. Für den Fall, daß nun auch in B statt der bisherigen Masseneinheit 2 werden, so zieht jede derselben auch jede der m Einheiten A an und die Gesammtanziehung ist 2Km, während sie bei M Einheiten von B den Werth KMm erlangt. Die Geschwindigkeit ist um so kleiner, je mehr Masseneinheiten sich in die wirkende Kraft KMm theilen, ist also bei $A = \frac{KMm}{m}$, bei $B = \frac{KMm}{M}$.

Je größer die Massenverschiedenheit der beiden Körper ist, um so näher wird der Punct des Zusammentreffens gegen den größeren derselben hinfallen und wenn der eine dem andern außerordentlich viel überlegen ist, wird es scheinen, als bewege sich nur der kleinere. Ein ohne Stütze in der Höhe schwebender irdischer Gegenstand zieht ebenso die Erde an, als diese ihn, aber bei seiner im Verhältniß zur ganzen Erde verschwindenden Masse liegt der Ort des Zusammentreffens beider der Erde so nahe, daß es scheint, als bewege sich nur der Gegenstand, während die Erde stehen bleibt. Man nennt diese Erscheinung das F a l l e n d e r K ö r p e r.

Wenn die Erde mit der Masse M zwei Körper, etwa Steine, deren Massen m und m_1 sind, anzieht, so ist die Anziehung für den einen KMm, für den andern KMm_1. In diese Anziehung haben sich bei dem einen Steine m bei dem andern m_1 Theile zu theilen und die jeden einzelnen dieser Theile treffende Anziehung ist bei dem ersten Steine $\frac{KMm}{m} = KM$, bei dem andern $\frac{KMm_1}{m_1} = KM$, ist also in beiden Fällen gleich, und es fallen daher die Steine, sie mögen viel oder wenig Masse enthalten, gleich schnell.

§. 19. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper sich unter dem Einflusse einer Kraft bewegt, dient zur Bestimmung der Intensität dieser Kraft, denn uns über letztere ein Urtheil zu bilden, haben wir kein anderes Mittel als ihre Leistungen. Wenn eine und dieselbe Menge materieller Substanz unter dem Einflusse verschiedener Kräfte das einemal die Geschwindigkeit 1, das anderemal die Geschwindigkeit 2 erlangt, so müssen sich auch die beiden Kräfte zu einander wie 1 : 2 verhalten. Sind die Kräfte gleich, wirken sie aber auf Körper, deren Massen verschieden sind, so sind es auch deren Geschwindigkeiten; aber das Product aus Geschwindigkeit und Masse, oder das Product aus dem in einer gegebenen Zeit zurückgelegten Wege und der Masse wird für beide Körper dasselbe sein. Man ist gewohnt, das genannte Product die Größe der Bewegung zu nennen, und 2 Kräfte, die eine gleiche Bewegungsgröße hervorrufen sind sich gleich; solche, die verschiedene Bewegungsgrößen verursachen, verhalten sich wie diese.

§. 20. Wenn die durch eine Kraft hervorgebrachte Wirkung als Maaßstab für ihre Intensität benützt werden kann, so muß es auch gelingen, die Frage zu beantworten, ob die Schwerkraft immer dieselbe bleibe, die ihrer Wirkung ausgesetzten Körper mögen einander nahe oder ferne sein, und Newton hat aus den Bewegungen der Gestirne das Gesetz abgeleitet, daß die Schwere abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächst, und wenn D diese Entfernung bezeichnet, so wird die zwischen 2 Körpern, deren Massen M und m sind, stattfindende Anziehung auszudrücken sein durch $\frac{KMm}{D^2}$.

§. 21. Wird ein dem Einflusse der Schwere unterworfener Körper in seiner Bewegung gehindert, so sucht er das Hinderniß vor sich herzuschieben und übt dadurch eine Wirkung auf dasselbe aus, die man mit dem Namen Druck bezeichnet. Diesen Druck kann man jederzeit beobachten, wenn auf der Erde ein Körper verhindert ist, sich dem Mittelpuncte unseres Planeten zu nähern. Es drückt jeder Körper auf seine Unterlage und dieser Druck muß der ihn bewirkenden Ursache entsprechend so groß sein, als die Anziehung ist, welche zwischen Erde und Körper besteht. Diese Anziehung ist aber dem Schwergesetze (§. 18.) zufolge um so größer, je mehr Masse der angezogene Körper besitzt und daraus ergibt sich ein Mittel, die Masse selbst zu bestimmen. Wir können zwar nicht sagen, in diesem oder jenem Körper seien so und so viele Atome, denn diese sind uns ihrer Kleinheit wegen unzugänglich,

aber wir können sagen: Dieser oder jener Körper hat so und sovielmal mehr oder weniger Masse als irgend ein anderer von uns willkürlich als Einheit angenommener. Wir können die Körper wägen, wir bestimmen ihre Masse aus ihrem Gewichte d. i. dem Drucke, den sie auf ihre Unterlage ausüben. Die Einheiten der Masse nun sind in den einzelnen Ländern gesetzlich bestimmt worden, doch, da sie ganz willkürlich sind, in den einzelnen Staaten verschieden, wenn auch in neuerer Zeit durch den wachsenden Verkehr das Bestreben hervorgerufen worden ist, die Verschiedenheiten auszugleichen.

In wissenschaftlichen Werken bedient man sich gegenwärtig fast durchaus des neueren französischen Gewichtes, welches wie das Längenmaaß auf dem Decimalsysteme beruht. Die Grundlage ist das G r a m m, welches dem Gewichte eines Cubikcentimeters reinen Wassers im Zustande der größten Dichte gleichkommt. Es ist ein 0.0001 Myriagramm = 0.001 Kilogramm (^{Kgr}) = 0.01 Hectogramm = 0.1 Decagramm = 1 Gramm (^{grm}) = 10 Decigrammen = 100 Centigrammen = 1000 Milligrammen (^{mgr}).

Von den in andern Staaten üblichen Gewichten mögen hier erwähnt werden

1 Englisches Avoir du poids Pfund	=	0.45360	Kilogr.
1 Wiener-Pfund	=	0.56002	„
1 Bayerisches Pfund	=	0.56000	„
1 Pfund Apothekergewicht	=	0.36000	„
1 Pfund Zollgewicht	=	0.50000	„

§. 22. Wäre die Schwere die einzige Kraft, welche ihre Thätigkeit auf die Körper ausübt, so könnte es allerdings dazu kommen, daß die in dem Weltenraume befindliche Materie sich zu einzelnen größeren oder kleineren Klumpen zusammenballte, die sich bei Hinzutreten eines einmaligen Stoßes in Verbindung mit der Trägheit der Materie auch um einander herumbewegen würden, wie wir dieses bei den Gestirnen haben, aber eine Welt, wie wir sie wirklich vor unsern Augen sehen, würde nun und nimmermehr daraus. Schon unter den bisher besprochenen Eigenschaften der Körper wäre eine, die Porosität, bei dem ausschließlichen Regimente der Schwerkraft unmöglich, denn es wäre nicht einzusehen, warum die einzelnen kleinsten Theile sich nicht vollständig sondern nur bis zu einer gewissen Gränze, wie dieses in der That der Fall ist, nähern. Es muß daher irgend etwas vorhanden sein, was verhindert, daß eine unmittelbare Annäherung stattfinde, und dieses

Etwas muß eine abstoßende Kraft sein. Die Thätigkeit dieser letzteren ist nicht so bekannt als die der Schwere, wir wissen nicht einmal, ob es nur eine oder ob es mehrere solche Abstoßungskräfte gebe, Thatsache ist nur, daß die abstoßenden Kräfte sich fast nur in nächster Nähe der Atome geltend machen. Im Innern der Körper ist ihr Wirkungskreis. Kommt man in meßbare Entfernung von dem Körper weg, so sind sie wie erloschen, und nur in Ausnahmsfällen, die bei der Electricität und dem Magnetismus besprochen werden sollen, ist ihr Reich ein weiteres. In den Räumen des Himmels, in der Bewegung der Gestirne läßt sich einzig und allein die Schwerkraft bemerken. Dadurch werden die Aufgaben, die sich dort dem Menschengeiste bieten, außerordentlich vereinfacht und dieses ist auch der Grund, warum die Astronomie unter allen Zweigen der Naturwissenschaften bisher die höchste Ausbildung erlangen konnte.

§. 23. Wie es in der Natur verschiedene Kräfte gibt, eben so läßt sich auch beobachten, daß die Materie nicht durchaus gleichartig sei. Der eine Theil gehorcht dem im Vorhergehenden angegebenen Gesetze der Schwere, und dieser Theil ist es, welcher diejenigen Körper zusammensetzt, die unsern Sinnen unmittelbar wahrnehmbar sind. Darum sagt man auch, daß sämmtliche Körper schwer d. i. dem Einflusse der Schwere unterworfen seien, und die schweren Körper sind es auch, welche man als aus materieller Substanz zusammengesetzt annimmt; doch ist das Wort „materiell" hier in einem engeren Sinne genommen. Während die Materie im weiteren Sinne des Wortes einen Gegensatz zu der Kraft bildet, bedeutet sie auch oft im engeren Sinne den wägbaren, schweren Stoff im Gegensatze zu dem dem Schwergesetze nicht unterworfenen und darum unwägbaren Aether, dessen Theile sich nach noch unbekannten Gesetzen abstoßen, weßhalb sie auch keine Aggregate oder Körper bilden, die sich durch unsere Sinne wahrnehmen lassen. Dieser Aether ist daher nicht unmittelbares Object der Beobachtung, allein manche Erscheinungen wie z. B. die des Lichtes haben auf ihn hingewiesen und es gilt gegenwärtig die Annahme, daß der Aether ein höchst feiner Stoff sei, dessen Theilchen nicht nur den Weltenraum, der von den Sternen leer gelassen ist, besetzt halten, sondern auch in die Poren der schweren Körper eindringend, die einzelnen Atome derselben einhüllen, und so die unmittelbare Aneinanderlagerung derselben verhüten.

§. 24. Auch die Atome der wägbaren Stoffe sind verschieden und bilden so von einander abweichende Körper (man vergleiche z. B. Kochsalz und Zucker). Derjenige Theil der Physik, welcher sich speciell mit der Untersuchung dieser Verschiedenheiten beschäftigt, ist die Chemie, welche der Physik (im engeren Sinne des Wortes) den Rest des Gebietes, die Untersuchung des Einflusses der Kräfte, die durch diese veranlaßten Bewegungen der Körper u. s. w. überläßt. Begreiflicherweise kann die Physik es nicht umgehen, die chemische Beschaffenheit der untersuchten Körper zu berücksichtigen, wie auch der Chemiker die Physik nicht entbehren kann, und darum ist es nachgerade ganz unmöglich geworden, eine Definition der beiden Fächer zu geben und die Gränze zwischen beiden in wenigen Worten zu bezeichnen.

§. 25. Um das Wesen der Chemie, soweit es hier nöthig ist, in Kürze anzugeben, sei es gestattet, einen Vergleich mit dem Bau der Wörter in der Schriftsprache anzuführen.

Die sämmtlichen Wörter der deutschen Sprache sind zusammengesetzt aus 26 Buchstaben, und indem wir diese in der manchfaltigsten Weise zusammengruppiren, entstehen die einzelnen Wörter. Ebenso hat der Chemiker etliche und 60 sogenannte Elemente, die sich miteinander verbinden. Nicht alle Buchstaben werden gleich häufig gebraucht, die Vocale sind allenthalben, q, x, y findet man nur selten. Dasselbe ist in der Chemie der Fall. Sauerstoff und Wasserstoff sind gewissermaßen die Vocale der Chemie, einzelne wie Thorium, Yttrium u. s. w. sind Raritäten. Wie in der Sprache das Wort sich aus Buchstaben zusammensetzt, so bildet sich aus den Elementen die chemische Verbindung. So besteht das Wort „er" aus den zwei Buchstaben e und r und ebenso ist die chemische Verbindung „Wasser" aus den 2 Elementen Sauerstoff und Wasserstoff zusammengesetzt. Würde man alle e, die sich in dem Setzkasten einer Druckerei befinden, mit je einem r verbinden und auf einen Haufen zusammenlegen, so würde dieser natürlich aus lauter Gliedern bestehen, deren jedes wieder aus e und r zusammengesetzt ist. Ebenso können wir eine ganze Menge von Sauerstoffatomen nehmen und jedes mit einem Wasserstofftheilchen zusammensetzen. Dadurch kommt eine größere oder geringere Menge von Wasser zum Vorschein, dessen einzelne Glieder ebenso aus den beiden Elementen zusammengesetzt sind, wie der vorerwähnte Letternhaufe aus lauter e und r.

Von den kleinsten Theilen des Wassers kann man nicht mehr als von Atomen sprechen, denn sie sind ja zusammengesetzt und trenn-

bar, aber wenn man sie trennt hat man nicht mehr Wasser, sondern je ein Atom der zwei Elemente. Man bedient sich daher im Allgemeinen zur Bezeichnung der kleinsten Theile der Verbindungen des Wortes Molecül, indem man das Atom den kleinsten Theilen der Elemente vorbehält, doch wird die Unterscheidung nicht allzu strenge genommen; man spricht aber öfter von Atomen der Verbindungen, als von Molecülen der Elemente.

Wir können zwar die einzelnen Atome ihrer Kleinheit wegen nicht sehen, aber wenn wir Wasser zerlegen und bekommen als Resultat der Zerlegung Sauerstoff und Wasserstoff, so schließen wir, daß jeder kleinste Theil des Wassers dieselbe Zusammensetzung gehabt habe, denn welchen beliebigen Theil einer vorgelegten Wassermenge wir auch untersuchen, immer ergeben sich dieselben Zerlegungsproducte.

In dem Worte „See" ist das S mit 2 e verbunden und ebenso kann es auch Verbindungen geben, in denen in jedem Molecüle derselbe Stoff in mehr als einem Atome vorkommt, so haben wir ein sogenanntes oxydirtes Wasser, dessen Molecüle aus je 2 Atomen Sauerstoff und je einem Atome Wasserstoff bestehen. Die Schwefelsäure ist aus 3 Atomen Sauerstoff und einem Atome Schwefel zusammengesetzt.

Die bisher angeführten Wörter waren einsylbige; wie es aber auch mehrsylbige Wörter gibt, so gibt es auch in der Chemie Verbindungen von Verbindungen. So mag dem Worte „Er=de" die Verbindung „schwefelsaures Kali" (Kali = Kalium + Sauerstoff, Schwefelsäure = Schwefel + Sauerstoff) entsprechen. Es gibt noch Verbindungen höherer Ordnung z. B. Fenster=Laden. Diesem entspricht der (wasserfreie) Alaun, der aus schwefelsaurem Kali und schwefelsaurer Thonerde zusammengesetzt ist.

Es ist nicht nothwendig, daß jede Sylbe aus bloß 2 verschiedenen Buchstaben bestehe, und ebenso gibt es Verbindungen, bei denen 3 oder 4 Elemente zusammentreten. Diese Elemente sind Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff, denen sich noch Stickstoff zugesellen kann. Solche ternäre und quaternäre Verbindungen sind characteristisch für die Producte der organischen Welt, während die unorganischen Gebilde binär sind.

Mitunter gibt es Wörter, die zwar aus denselben Buchstaben zusammengesetzt sind, in denen aber die Art der Verbindung verschieden ist, z. B. aber, rabe. Dasselbe kommt auch in den sogenannten isomeren Verbindungen in der Chemie vor. So sind Stärkmehl und

Zucker Verbindungen von 12 Atomen Kohlenstoff, 10 Wasserstoff und 10 Sauerstoff; Niemand wird aber läugnen, daß beide Körper ganz verschiedene Eigenschaften haben. Andererseits können mitunter unter sich verschiedene Verbindungen in ihrem Auftreten sehr viel Analogie mit einander haben, wie man dieses etwa bei den sich reimenden Wörtern beobachtet. Ein Element kann das andere vertreten und so ein dem andern verwandtes Product liefern, wie man dieses etwa erhält, wenn man ein B mit einem P vertauscht. So kann im Alaun das Kalium durch Natrium ersetzt werden u. s. w., und es entsteht eine neue Verbindung, die mit der alten sehr viele Aehnlichkeit zeigt. Man nennt dieses Verhältniß Isomorphie.

Nicht alle Buchstaben können mit einander verbunden werden, manche Zusammenstellungen kommen dafür um so öfter vor. Ebenso ist es mit den chemischen Elementen.

Der Einfachheit wegen hat man für die einzelnen chemischen Elemente Buchstaben gewählt, welche dieselben bezeichnen. So führt der Sauerstoff das Zeichen O, der Wasserstoff das Zeichen H, Kohlenstoff C u. s. w. Die aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff bestehende Kohlensäure führt das Zeichen CO_2, der Zucker und das Stärkmehl nach der oben angegebenen Zusammensetzung werden ausgedrückt durch $C_{12}\,H_{10}\,O_{10}$.

Wenn, wie oben erwähnt wurde, jeder kleinste Theil des Wassers aus einem Atome Wasserstoff und einem Atome Sauerstoff besteht, und wir finden bei der Zerlegung einer größeren Menge, daß das Gewicht des so erhaltenen Wasserstoffes zu dem des Sauerstoffes sich wie 1 zu 8 verhält, so wird uns auch der Schluß erlaubt sein, daß die Gewichte der einzelnen Atome sich ebenso zu einander verhalten. Man kann die einzelnen Atome nicht behufs der Bestimmung ihrer Masse auf die Wagschale legen, aber obiger Schluß gestattet anzugeben, in welchem Verhältnisse das Gewicht des einen Atomes zu dem des anderen steht, denn wiegt jede beliebige Menge von Sauerstoffatomen stets achtmal so viel als die gleiche Menge von Wasserstoffatomen, so wird dieses auch bei den einzelnen der Fall sein.

Zerlegt man die Verbindung „Oelbildendes Gas“ (Kohlenstoff + Wasserstoff), so zeigt sich, daß das Gewicht des Kohlenstoffs das Sechsfache von dem des erhaltenen Wasserstoffes ist, wenn daher 1 Atom des letzteren das Gewicht 1 hat, so wiegt 1 Atom Kohlenstoff 6. Verbindet man nun 1 Atom Kohlenstoff mit 1 Atome Sauerstoff zu

Kohlenoxydgas, so muß, da das Atom- oder (wie man auch sagt) Mischungsgewicht des Sauerstoffs 8, das des Kohlenstoffs 6 ist (das des Wasserstoffs = 1 genommen) dieses Gas aus 8 Gewichtstheilen Sauerstoff und 6 Kohlenstoff bestehen. Die Kohlensäure besteht aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff und ihre Zusammensetzung nach dem Gewichte wird daher sein: 6 Theile Kohlenstoff und 16 Sauerstoff und 22 = 16 + 6 ist das Mischungsgewicht der Kohlensäure.

Für die wichtigsten Elemente sind nachstehend Zeichen und Atomgewicht angegeben:

Aluminium	Al	13.7	Magnesium	Mg	12.7
Antimon	Sb	129.2	Natrium	Na	23.2
Arsenik	As	75.2	Nickel	Ni	29.6
Baryum	Ba	68.6	Phosphor	P	31.4
Blei	Pl	103.8	Platin	Pt	98.7
Bor	B	10.9	Quecksilber	Hg	100.0
Brom	Br	78.4	Sauerstoff	O	8.0
Calcium	Ca	20.0	Schwefel	S	16.0
Chlor	Cl	35.5	Silber	Ag	108.0
Eisen	Fe	28.0	Silicium	Si	22.2
Gold	Au	197.0	Stickstoff	N	14.0
Jod	J	127.0	Wasserstoff	H	1.0
Kalium	K	39.2	Wismuth	Bi	106.6
Kobalt	Co	29.6	Zink	Zn	32.6
Kohlenstoff	C	6.0	Zinn	Sn	59.0
Kupfer	Cu	31.8			

§. 26. Durch das Zusammentreten der verschiedenen chemischen Elemente zu Verbindungen in Combination mit den die kleinsten Theilchen derselben umhüllenden und aus einander haltenden Aethertheilchen erhalten wir die verschiedenen Körper, denen wir in der Natur begegnen, und auf der Verschiedenheit der jeweiligen Zusammensetzung beruht wieder der außerordentliche Wechsel in dem Auftreten der Körper selbst.

Soll sich aus einer größeren Menge von Molecülen ein Körper bilden, dessen Dimensionen ihn für unsere Sinne erkennbar machen, so wird es sich zunächst darum handeln, ob die einzelnen Molecüle auch unter einander Wirkungen ausüben oder nicht. Die nähere Betrachtung zeigt, daß solche Molecularwirkungen allerdings vorhanden sind, und vermöge derselben suchen die Molecüle einen bestimmten gegenseitigen Abstand einzuhalten, in den sie, wenn man sie aus demselben bringt,

zurückzukehren suchen, so daß also bei diesem die vorhandenen Anziehungen und Abstoßungen sich aufheben. Hierauf beruht die Dichtigkeit der Körper. Derjenige Gegenstand, dessen kleinste Theilchen näher beieinander sind als die eines andern, wird auch in einem gegebenen Raume mehr derselben vereinigt haben als dieser, und er ist also der dichtere von beiden.

Die Untersuchung der irdischen Körper zeigt, daß dieselben in 2 Klassen eingetheilt werden können, je nachdem der gegenseitige Molecularabstand ein solcher ist, daß die innern Anziehungen und Abstoßungen sich aufheben oder nicht. Die Körper der ersten Klasse, bei denen also Abstoßung und Anziehung sich aufheben, werden sich selbst überlassen keine Aenderung ihres Volumens erfahren, denn es ist keine Ursache hiezu vorhanden. Bei den andern Körpern ist in den Fällen, in welchen wir ihnen begegnen, dieser Gleichgewichtszustand nur dadurch zu Stande gebracht, daß diejenigen Kräfte, welche die Molecularabstände zu verringern streben, durch andere von außen kommende Wirkungen unterstützt werden, und darum würden auch bei Entfernung dieser äußern Wirkungen die einzelnen Molecüle der Körper sich von einander entfernen. Diese letztere Klasse von Körpern nennt man Luftarten oder Gase. Bringt man z. B. eine ganz kleine Menge einer Luftart in ein gut schließendes Gefäß, so werden die einzelnen sie zusammensetzenden Molecüle sich so weit von einander entfernen, als die Größe des Gefäßes es gestattet, und welche Gestalt letzteres auch hat, es wird stets von der Luft erfüllt sein, deren Dichtigkeit freilich im umgekehrten Verhältnisse zu dem Volumen des Gefäßes steht. Durch einen äußern Druck verringert sich das Volumen der Gase, bei dessen Nachlassen vergrößert es sich wieder. Da bei diesen Körpern die Molecüle unter einander im höchsten Grade verschiebbar sind, denn sie gruppiren sich bei der geringsten äußern Einwirkung in anderer Weise, so nennt man sie auch flüssige Körper, und vermöge der Eigenschaft, durch äußern Druck zu einer Veränderung des Volumens veranlaßt zu werden, die sich nach dem Aufhören desselben wieder aufhebt, heißen sie auch elastisch-flüssige.

Die Körper von für sich constantem Volumen zerfallen wieder in 2 Abtheilungen, je nachdem die einzelnen Molecüle einer von außen kommenden Wirkung, welche zwar nicht den gegenseitigen Abstand wohl aber die gegenseitige Stellung derselben zu verändern strebt, einen bemerkbaren Widerstand entgegensetzen oder nicht, und man bezeichnet

erstere als *feste*, letztere als *flüssige* Körper. Bei den ersteren gehört eine gewisse größere oder geringere Kraft dazu, die Molecüle von einander zu trennen oder sie zu verschieben und die Folge davon ist, daß sie sich in den manchfaltigsten Formen darstellen, während letztere vermöge der leichten Verschiebbarkeit der Molecüle jedem Eindrucke nachgeben und sich daher in Beziehung auf ihre Gestalt an die der sie umgebenden festen Körper anschließen. Sind die flüssigen Körper sich selbst überlassen, so nehmen sie (im Tropfen) die Kugelform an und diese ist daher ihre einzige wirkliche Gestalt im Gegensatze zu den von der Umgebung abhängigen also zufälligen Formen, unter denen sie uns in der Regel begegnen.

Das nach Vorstehendem dreifach verschiedenartige Auftreten der Körper wird im Allgemeinen mit dem Worte *Aggregatzustand* bezeichnet, und wir haben daher dieser Aggregatzustände drei, den *festen*, den *tropfbarflüssigen* und den *elastischflüssigen* oder *luftförmigen*.

Statik,

oder die Lehre vom Gleichgewichte der Körper.

§. 27. Wenn mehrere Kräfte in der Weise auf einen Körper wirken, daß sie sich gegenseitig aufheben, so wird derselbe keiner von ihnen gehorchen und daher in Ruhe bleiben. Die Kräfte halten sich also das Gleichgewicht. Der Körper kann aber auch in Ruhe verharren, wenn die Bewegung, welche die Kräfte hervorrufen, durch einen Widerstand aufgehoben wird. So wird ein an einem Faden aufgehängter Körper so lange in Ruhe bleiben, als die Anziehungskraft der Erde nicht stärker ist als der Faden.

Die Lehre von den Bedingungen, unter denen ein Körper in Ruhe bleibt, heißt Statik, und wird wieder je nach dem Aggregatzustande der untersuchten Körper in Geostatik, Hydrostatik und Aerostatik oder die Lehre von dem Gleichgewichte der festen, tropfbarflüssigen und luftförmigen Körper eingetheilt.

Geostatik.

§. 28. Nach dem Gesetze der Trägheit fängt kein Körper ohne Veranlassung an, sich zu bewegen — jedesmal muß eine Kraft auf ihn einwirken, und die Größe des von dem Körper mit ihrer Hülfe zurückgelegten Weges dient zur Beurtheilung der Intensität der Kraft. Würde von 2 Kräften die eine einen in A (Fig. 3) befindlichen Körper oder materiellen Punct in derselben Zeit nach B führen, in der ihn die andere nach C brächte, so würden

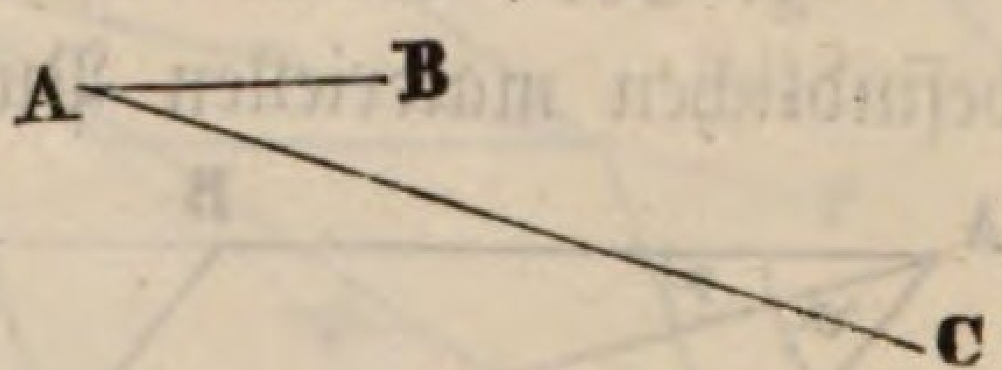


Fig. 3.

sich die beiden Kräfte zu einander verhalten wie die Geraden AB und AC. Gibt man außerdem den beiden Geraden dieselben Richtungen, nach denen hin die Kräfte den Körper zu führen streben, so kann man sie als Repräsentanten beider Kräfte betrachten, und die Wirkung der letzteren läßt sich daher durch Gerade graphisch darstellen.

§. 29. Wirken 2 Kräfte in gleicher Richtung, so summiren sie sich. Würden auf A (Fig. 4) die Kräfte AB und AC

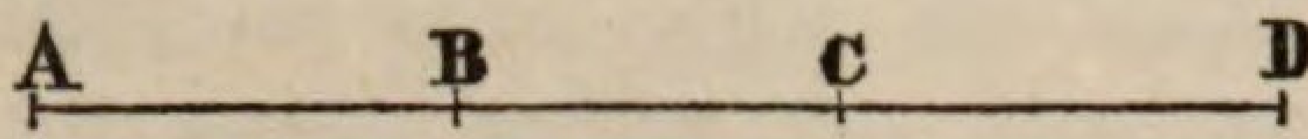


Fig. 4.

thätig sein, so wäre deren Gesammteffect gerade so groß, als der einer dritten Kraft AD, deren Intensität der Summe AB + AC gleich ist.

Wirken 2 Kräfte in entgegengesetzter Richtung, so kommt ihre Gesammtwirkung ihrer Differenz gleich. Würde (Fig. 4) die eine Kraft den Körper von B nach D, die andere von B nach A bringen, so ist ihr Gesammteffect dem einer dritten Kraft gleich, die mit der Intensität BC = BD — AB im Sinne der stärkeren Kraft thätig ist. Ist BD = AB, also BD — AB = 0, so wird auch BC = 0 d. h. der Körper bewegt sich gar nicht, weil die beiden auf ihn wirkenden Kräfte sich aufheben, er ist daher im Gleichgewichte.

Die so erzielten Resultate bleiben die gleichen, wenn man, statt die Kräfte gleichzeitig wirken zu lassen, dieselben nach einander angreifen läßt. Legt z. B. der Körper (Fig. 4) der einen Kraft zufolge die Strecke AB, vermöge der andern die Strecke AC zurück, so werden beide zusammen ihn bis D bringen. Läßt man aber die Kräfte nach einander thätig sein, so führt ihn die erste nach B, dann die zweite (da BD = AC) von B nach D. Sind sich die Kräfte entgegengesetzt, so kann man bei nacheinander folgender Wirkung den Körper auf die eine Seite wandern lassen, worauf ihn die andere Kraft wieder zurückbringt.

Hat man mehrere Kräfte, so kann man je die Summe der Kräfte gleicher Richtung an die Stelle der obigen einzelnen setzen, und man erhält Gleichgewicht, wenn beide Summen sich aufheben.

§. 30. Wenn auf einen Körper oder auf einen in A (Fig. 5) befindlichen materiellen Punkt 2 Kräfte P und Q wirken, von denen

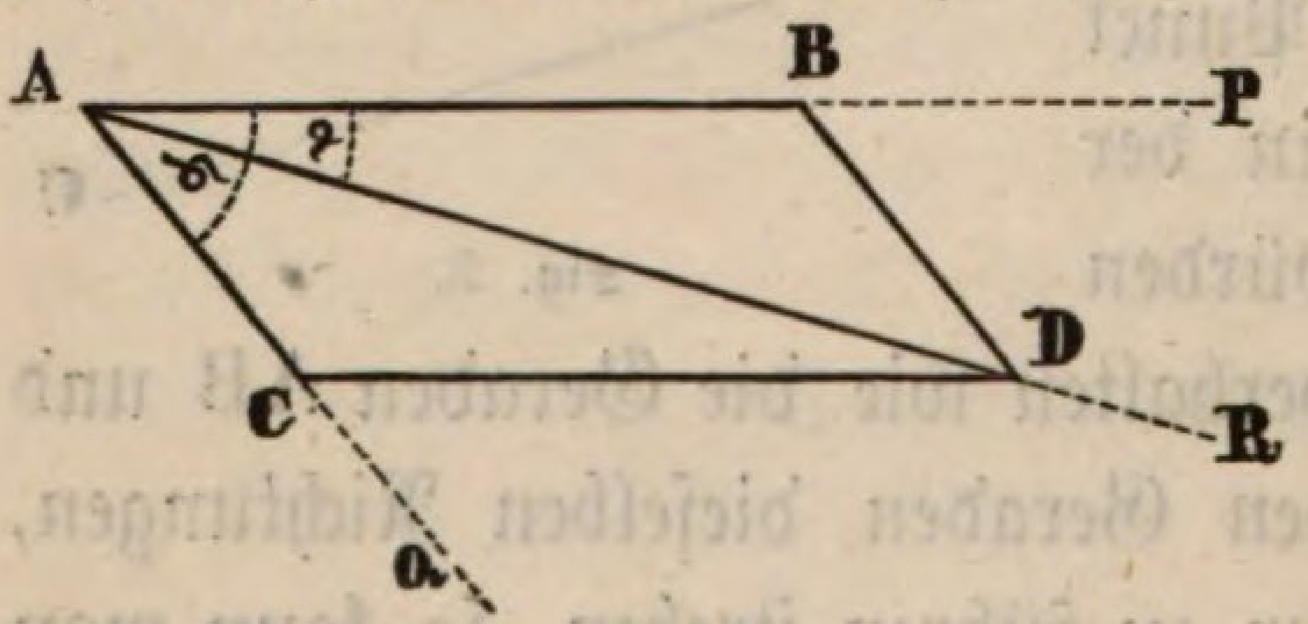


Fig. 5.

ihn die eine nach B, die andere nach C bringen würde, so folgt er weder der einen Richtung allein noch der andern, sondern geht nach D. Lassen wir nämlich zuerst die Kraft P thätig sein, so geht er nach B, worauf ihn die Kraft Q der AC parallelen und der Länge nach gleichen BD entlang also ohne ihre Richtung und Stärke zu ändern nach D bringt. Ließe man zuerst Q und dann P seinen Einfluß ausüben, so ginge der Körper zuerst nach C und dann nach D, während er bei gleichzeitigem

Eingreifen der Kräfte den Weg AD macht, und es wirkt daher jede Kraft so, als wenn die andere gar nicht vorhanden wäre. Man sieht sehr leicht, daß die Figur ABDC ein Parallelogramm ist, dessen Diagonale von AD gebildet wird, während AB und AC dessen Seiten sind. Die Kräfte P und Q haben dasselbe Resultat, als wie eine einzige Kraft R, die der Größe und Richtung nach durch AD vorgestellt wird, und letztere heißt daher die Resultirende von P und Q, welche die Seitenkräfte oder die Componirenden genannt werden.

Ein Beispiel möge diesen Vorgang etwas klarer machen. Von dem Puncte A als dem Ufer eines Flusses fahre ein Schiff ab, und die Strömung des Wassers sowie des Windes seien die 2 Kräfte, die es treiben. Das Wasser würde ohne den Wind das Schiff in der Richtung AP in einer gegebenen Zeit nach B bringen; wäre das Wasser ruhig und nur der Wind thätig, so käme das Schiff in derselben Zeit nach C, wirken aber beide Kräfte gleichzeitig, so wird das Fahrzeug den Weg AD zurücklegen.

Der Lehrsatz, daß die Resultirende zweier Kräfte durch die Diagonale des Parallelogrammes vorgestellt wird, während die beiden Componirenden 2 Seiten dieses Parallelogrammes repräsentiren, heißt der Satz vom Parallelogramme der Kräfte und ist einer der Fundamentalsätze der Physik.

Die Resultirende zweier Kräfte ist diejenige Kraft, welche der Stärke und Richtung nach genau so wirkt, wie die Componirenden zusammen, und man kann daher ohne in der Gesammtwirkung eine Aenderung hervorzurufen, die Resultirende durch die Componirenden oder diese durch die Resultirende ersetzen. Dieser Umstand ist von Vortheil für den Fall, daß man die Resultirende von 3 oder mehreren Kräften bestimmen will. Sind (Fig. 6) M, N, O solche Kräfte, so bestimmt man zuerst aus M und N die Resultirende r. Diese wirkt genau so wie M und N zusammen, kann dieselben also ersetzen und wenn man nun aus r und O die Resultirende r_1 sucht, so ist diese die Repräsentantin für die 3 Kräfte M, N und O.

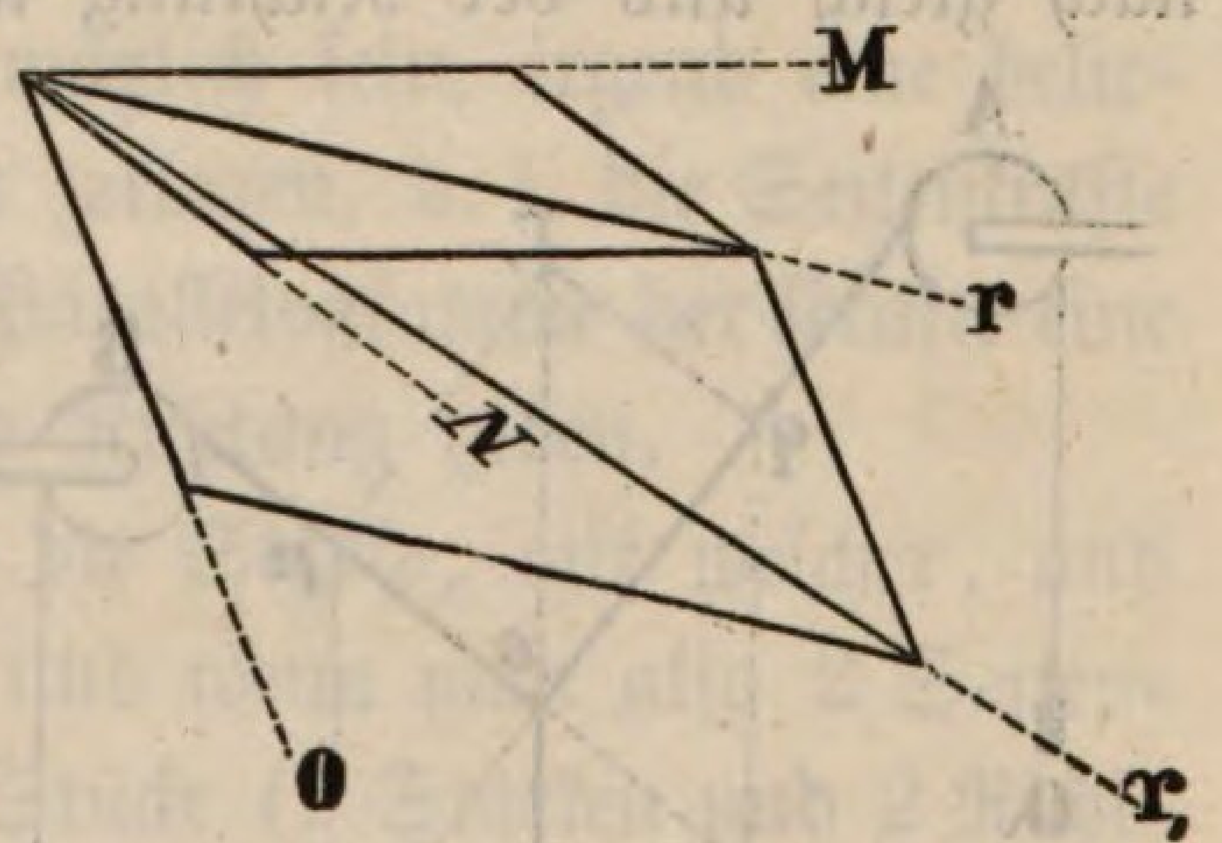


Fig. 6.

Nach den Sätzen der Trigonometrie ist (Fig. 5)
$AD^2 = AB^2 + AC^2 + 2\ AB\ .\ AC \cos \varphi$. Da nun die Kräfte R, P

und Q sich zu einander verhalten wie die Größen AD, AB und AC, also $R : P : Q = AD : AB : AC$, so wird

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2\,PQ\cos\varphi} \quad . \quad . \quad 1)$$

Bezeichnet man den Winkel zwischen P und R mit α, so wird

$$\sin\alpha = \frac{Q\sin\varphi}{R} \quad . \quad . \quad 2)$$

Man erhält aus der Gleichung 1) die Größe der Resultirenden R, aus der Gleichung 2) den Winkel, den sie mit P macht, also ihre Lage, und sie läßt sich daher aus den Componirenden und dem von ihnen eingeschlossenen Winkel jederzeit sowohl der Lage als auch der Richtung nach vollkommen bestimmen.

Die Resultirende ist je nach dem Winkel, unter dem die Seitenkräfte wirken, verschieden; sie erlangt ihren größten Werth, wenn die 2 Kräfte nach der gleichen Richtung ziehen, sie wird ein Minimum, wenn die Kräfte sich entgegengesetzt sind. Wenn die Kräfte in gleichem Sinne wirken, so wird $\varphi = 0$ also $\cos\varphi = 1$ und
$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2\,PQ} = P + Q$ d. i. die Kräfte summiren sich. Sind sich die Kräfte entgegengesetzt, so wird $\varphi = 180^0$ und $\cos\varphi = -1$ also $R = \sqrt{P^2 + Q^2 - 2\,PQ} = P - Q$ d. i. die Kräfte subtrahiren sich. Die oben (§. 29) angegebenen 2 Sätze sind mithin specielle Fälle des gegenwärtigen allgemeinen.

§. 31. Hat man 2 oder mehrere Kräfte, die in verschiedenen Richtungen auf einen Punct wirken, so werden sie eine Gesammtresultirende haben, und es findet Gleichgewicht statt, wenn man eine weitere Kraft einführt, welche dieser Resultirenden der Stärke nach gleich, der Richtung nach entgegengesetzt ist. Umgekehrt ist in dem Falle, daß mehrere auf einen Punct wirkende Kräfte mit einander im Gleichgewichte sind, jede derselben der Resultirenden der übrigen der Größe nach gleich und der Richtung nach entgegengesetzt.

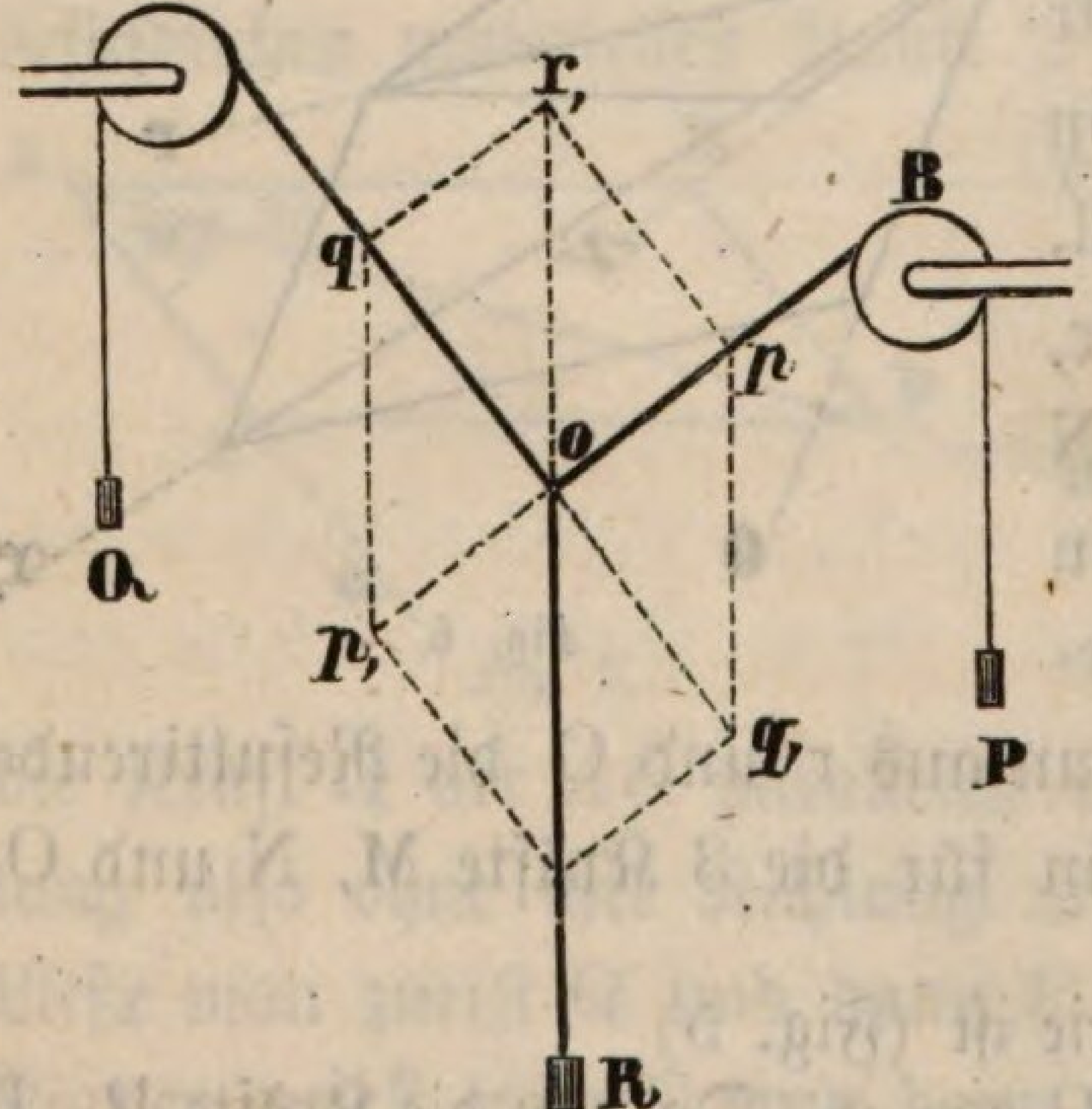


Fig. 7.

Man kann die Richtigkeit dieses Satzes sehr leicht experimentell nachweisen, wenn man 2 Rollen A und B (Fig. 7) an einem passenden Gestelle befestigt, eine Schnur, die in O mit einer andern verknüpft ist, darüber laufen läßt, und die Gewichte P, Q und R an die 3 Enden hängt. Die Gewichte bringen nun an den Schnüren Spannungen hervor, vermöge deren sie den Knoten O jedes nach seiner Richtung fort-

zuziehen suchen, worauf endlich Gleichgewicht eintritt, wenn die Winkel zwischen den einzelnen Schnüren in einem bestimmten aber von der Größe der Gewichte abhängigen Verhältnisse stehen.

Setzen wir den Fall, P habe das Gewicht 3, Q das Gewicht 4 und der Winkel poq sei ein Rechter, so kann man die Resultirende beider Kräfte leicht nach dem Lehrsatze vom Parallelogramm der Kräfte ermitteln, wenn man unter Zuhülfnahme einer beliebigen Längeneinheit auf der Schnur op die Länge 3, auf oq die Länge 4 aufträgt, und das Parallelogramm oqr_1p bildet. Diese Resultirende hat die Stärke 5 und wird durch die senkrecht nach oben gerichtete Gerade or_1 dargestellt. Gibt man nun dem senkrecht abwärts wirkenden Gewichte R die Größe 5, so ist dieselbe der Resultirenden von P und Q gleich und der Richtung nach entgegengesetzt, es findet daher Gleichgewicht statt. Andererseits wird der Winkel poq von selbst ein Rechter werden und der Knotenpunct o wird sobald poq = 90° in Ruhe kommen, wenn man die Gewichte 3, 4 und 5 an die betreffenden Schnüre anhängt. Betrachtet man die Kräfte Q und R für sich, so geben sie die Resultirende op_1 und dieser ist die eben so starke op entgegengesetzt. Der gleiche Fall findet für oq_1 und oq statt.

Macht man die drei Gewichte P, Q und R gleich, so wird der Knotenpunct dann in Ruhe kommen, wenn die Winkel zwischen den einzelnen Schnüren ebenfalls gleich sind, also jeder 120° beträgt, wie dieses sich bei der Construction der Parallelogramme sowie bei der Berechnung als nothwendig herausstellt.

§. 32. Kann man mehrere Kräfte zusammenlegen, indem man ihre Resultirende sucht, so muß es auch möglich sein, irgend eine beliebige Kraft in 2 oder mehrere andere zu zerlegen, d. i. die Seitenkräfte zu suchen, welche nach dem Satze vom Parallelogramme der Kräfte eine Resultirende von bestimmter Größe und Richtung geben.

Bei jeder Kraft unterscheidet man die Stärke, mit welcher, und die Richtung, in welcher sie thätig ist, und wenn man also 2 Seitenkräfte sucht, so hat man im Ganzen 4 Stücke (2 Stärken und 2 Richtungen) zu bestimmen, während in der Resultirenden nur 2 Stücke gegeben sind. Nach §. 30 kann man wohl aus 4 gegebenen Stücken 2 unbekannte suchen, man kann aber nicht aus 2 gegebenen 4 unbekannte ausmitteln und die Aufgabe bleibt daher eine unbestimmte, da es zu jeder Resultirenden eine ganze Menge von Seitenkräften geben kann.

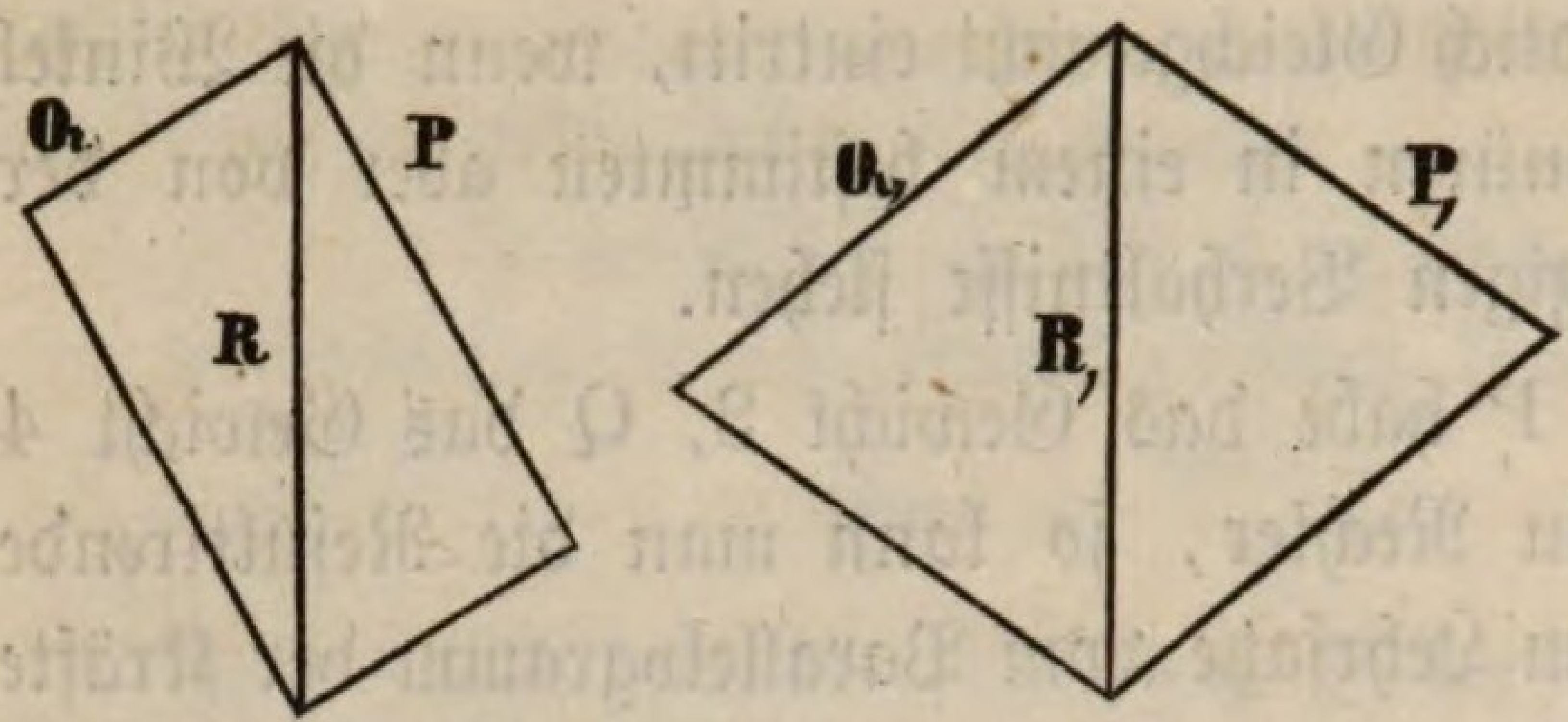


Fig. 8 und 9.

So sind in den Fig. 8 und 9 die Resultirenden R und $R_{\prime}$ der Größe und Richtung nach gleich, sie sind aber aus ganz verschiedenen Seitenkräften PQ und $P_{\prime}Q_{\prime}$ zusammengesetzt. Wenn übrigens im Allgemeinen auch die Aufgabe auf unendlich viele Arten gelöst werden kann, so sind doch, wie in der Folge gezeigt werden wird, specielle Fälle vorhanden, wo man von den 4 zu ermittelnden Stücken 2 aus der Natur der Aufgabe ableiten kann, so daß die noch übrigen beiden vollkommen bestimmbar sind.

Die Zerlegung der Kräfte gibt ein ganz einfaches Mittel an die Hand, die Resultirende aus einer größeren Anzahl von Seitenkräften zu finden. Sind z. B. (Fig. 10) a, b, c, d, e die Kräfte, deren Resultirende man be-

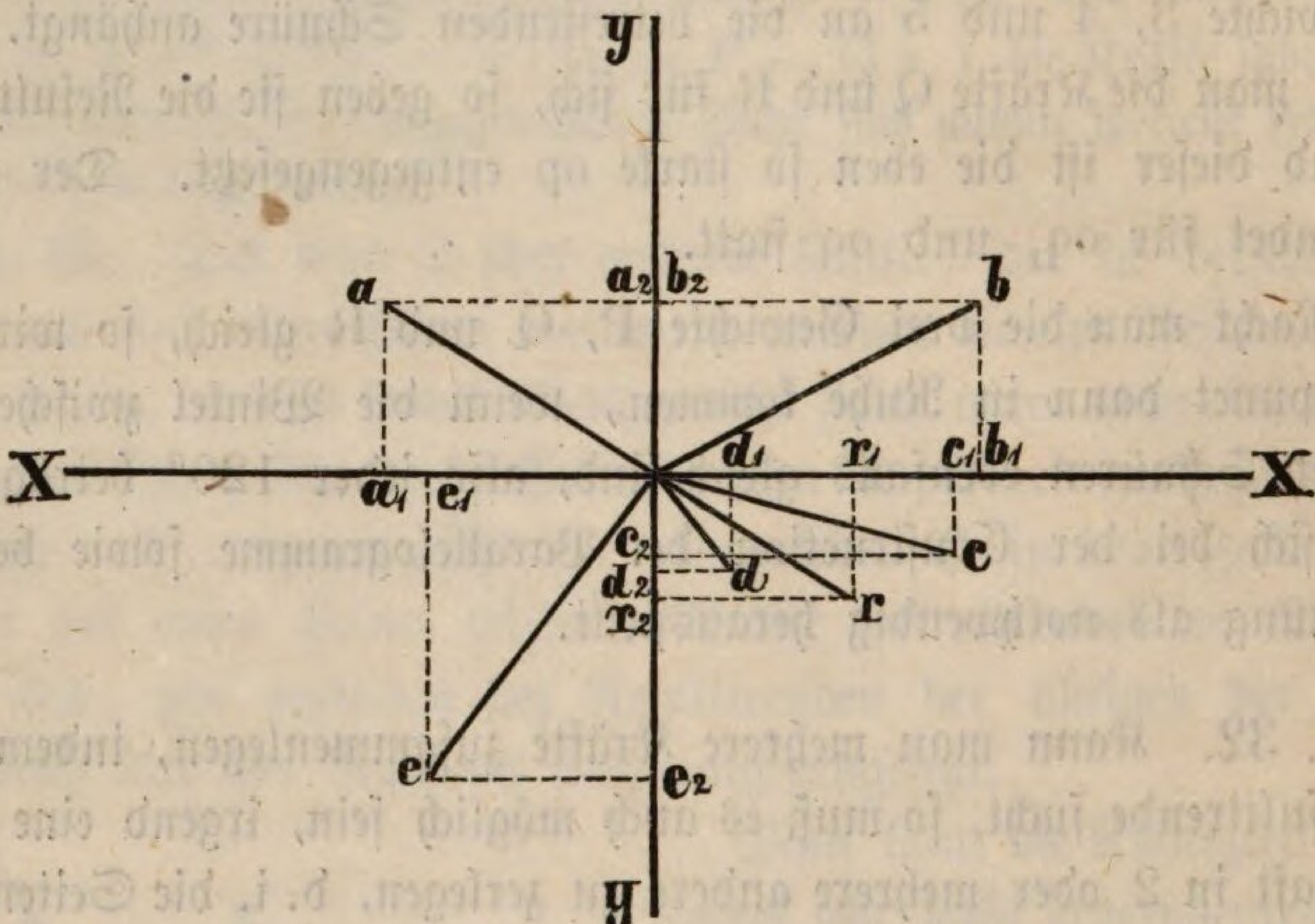


Fig. 10.

stimmen will, so zerlegt man jede derselben in 2 Seitenkräfte, die mit 2 beliebigen auf einander senkrecht stehenden Richtungen XX und YY zusammen fallen. Auf der Richtung der XX hat man die Componirenden a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, wovon a_1 und e_1 den Angriffspunct 0 auf die eine, b_1, c_1 und d_1 auf die andere Seite zu ziehen streben. Man gibt nun der einen Seite das Zeichen + der andern das Zeichen — und es ergibt sich nach §. 29

$$r_1 = -a_1 + b_1 + c_1 + d_1 - e_1$$

und in gleicher Weise $r_2 = -a_2 - b_2 + c_2 + d_2 + e_2$ und daraus wird (weil $\varphi = 90^0$ also $\cos\varphi = 0$) nach 1) §. 30 $r = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$.

Ist α der Winkel zwischen r und r_1, so wird nach 2) §. 30 $\sin\alpha = \frac{r_2}{r}$.

Berechnet sich r = 0 oder führt man eine Kraft ein, die ihm gleich und der Richtung nach entgegengesetzt ist, so heben die wirkenden Kräfte sich gegenseitig auf, es tritt Gleichgewicht ein.

§. 33. Wenn ein Körper sich auf einer Ebene befindet, welche senkrecht auf der Richtung der Schwere steht, also auf einer Horizontalebene, so ist er für sich im Gleichgewichte, denn die Schwerewirkung wird durch die Unterlage aufgehoben. Es übt zwar der Körper einen Druck auf die Ebene aus, da er aber an keinem Puncte derselben dem Erdmittelpuncte näher stehen würde, und auch kein Grund vorhanden ist, warum er an dem einen Puncte der als durchaus gleichförmig angenommenen Ebene lieber sein sollte, als an einem andern, bleibt er stehen. Ist dagegen die Ebene gegen den Horizont geneigt, ist ein Theil derselben dem Erdmittelpuncte näher als der andere, so wird ein darauf gelegter Körper auf ihr abwärts gehen. Bringt man den Körper Q (Fig. 11) auf die schiefe Ebene AB, so wird ihn die Schwere in der Richtung ba herabziehen, da er aber durch die schiefe Ebene nicht hindurch fallen kann, so kann die Schwerewirkung wenigstens nicht vollständig in Thätigkeit treten. Die Kraft, mit welcher Q von der Erde angezogen wird, und die durch die Gerade ab

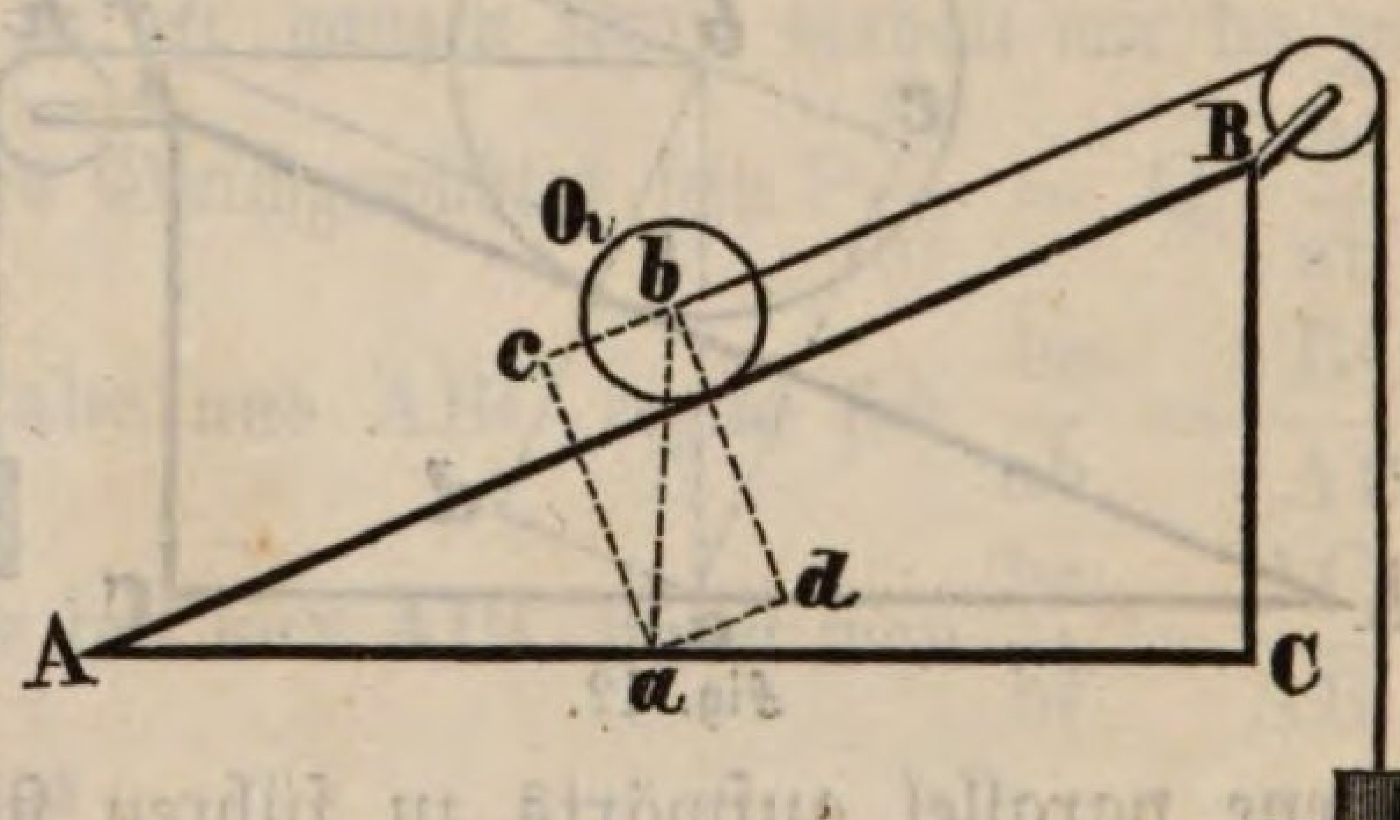


Fig. 11.

repräsentirt sein soll, zerlegt sich in 2 auf einander senkrechte Kräfte, von denen die eine in der Richtung bd senkrecht auf der schiefen Ebene AB steht und den auf diese ausgeübten Druck des Körpers Q angibt, während die andere mit AB parallele Seitenkraft bc die Richtung angibt, in der sich Q bewegen kann. Hier findet sich ein Fall, daß eine Kraft (ab) sich in 2 Seitenkräfte zerlegt, deren Richtungen aus der Natur der Aufgabe bekannt sind, und es bleibt daher nur noch die Bestimmung der beiden andern Stücke, ihrer Größen, übrig. Nach dem Satze vom Parallelogramme der Kräfte ergeben sich die beiden Seitenkräfte bd und bc, und da bc kleiner ist als ab, so ist die Gewalt, mit der Q sich gegen A zu bewegen strebt, offenbar kleiner als wenn es im freien Falle mit der ganzen Wirkung der Schwere nach abwärts dringen würde.

Verbindet man Q vermittelst einer um die Rolle B geschlungenen Schnur mit dem Gewichte P, so sucht dieses, indem es ebenfalls fallen

will, Q aufzuhalten. Es ergibt sich die Frage, wie groß P im Verhältniß zu Q sein müsse, um demselben das Gleichgewicht zu halten, und die Rechnung wie die Beobachtung zeigen, daß dann Gleichgewicht eintrete, wenn sich P zu Q verhält wie die Höhe BC der schiefen Ebene zu deren Länge AB, d. i. wenn $P = Q\frac{BC}{AB}$.

In dem vorigen Falle war die durch die Rolle B umgeänderte Richtung der Kraft P der Seitenkraft, nach welcher die Last Q über die schiefe Ebene hinabzurollen strebt, diametral entgegengesetzt, und es entsteht daher Gleichgewicht, sobald $P = Q\frac{BC}{AB}$ ist. Wenn aber die Richtung von P diese Bedingung nicht erfüllt, sondern wie in Fig. 12 nicht der schiefen Ebene AB, sondern ihrer Basis AC parallel ist, so wirkt auch P nicht mit ganzer Kraft. Man hat hier die die Kraft P repräsentirende Gerade bf als die Resultirende von 2 Seitenkräften zu betrachten, von denen die eine bg die Last Q gegen die schiefe Ebene andrückt, während be sie der Ebene parallel aufwärts zu führen strebt, und jetzt wird Gleichgewicht eintreten, wenn sich P zu Q verhält wie die Höhe BC der schiefen Ebene zu deren Basis AC oder wenn $P = Q\frac{BC}{AC}$.

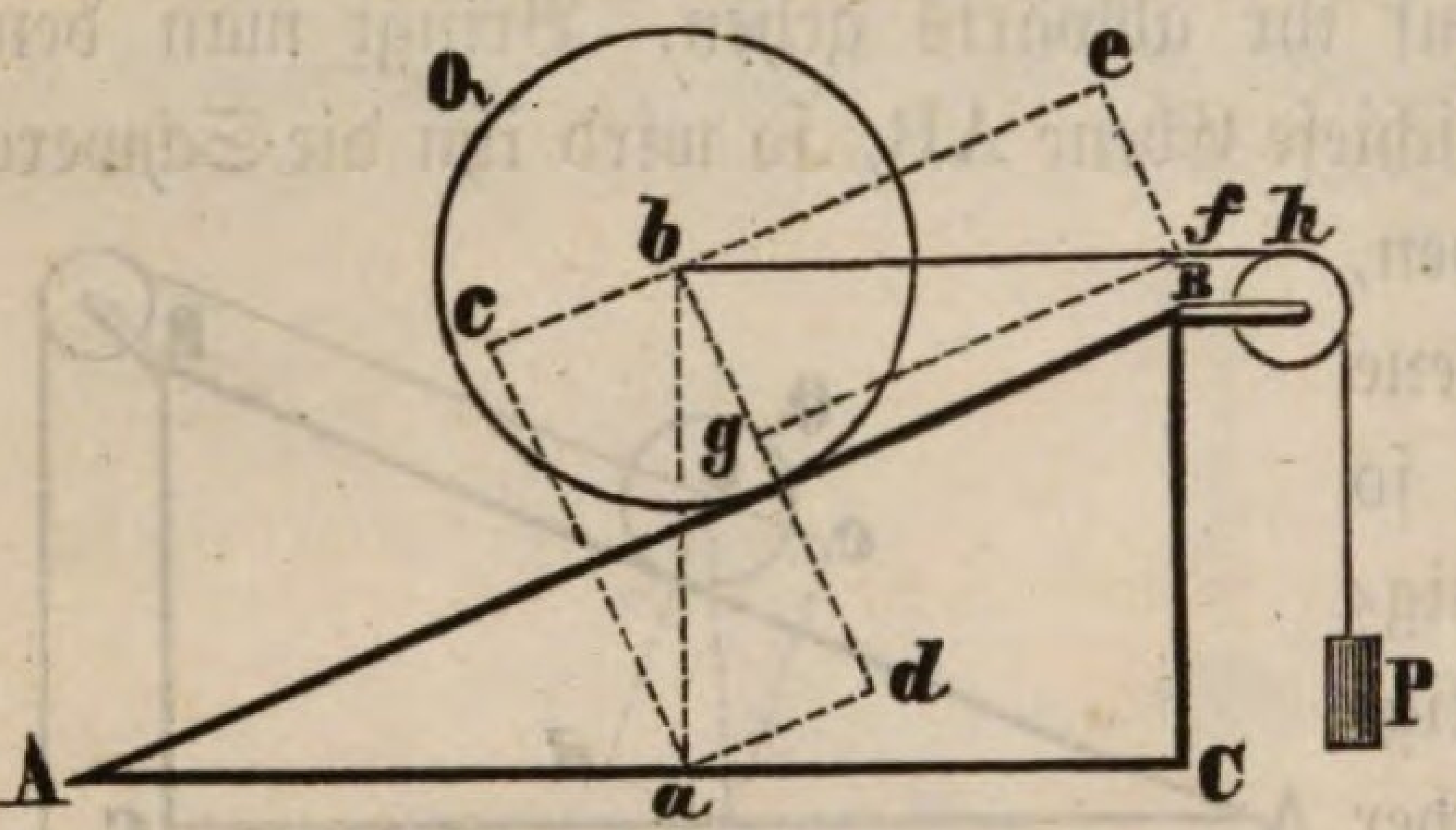


Fig. 12.

Im ersten der beiden vorstehenden Fälle sucht eine Kraft den auf der schiefen Ebene befindlichen Körper nach abwärts zu führen, die sich zu der der Schwere verhält wie bc zu ab (Fig. 11), und wenn die Wirkung bei dem freien Falle gleich Q wäre, so ist sie also hier nur $Q \cdot \frac{bc}{ab}$. Dieser nach abwärts treibenden Kraft ist vermittelst der Schnur die Wirkung des im freien Falle befindlichen P diametral entgegengesetzt, und beide Kräfte sind sich gleich, wenn $P = Q \cdot \frac{bc}{ab}$ oder $P \cdot ab = Q \cdot bc$.

Nach den Sätzen der Geometrie sind die 2 Dreiecke abc und ABC einander ähnlich, folglich ist $\frac{bc}{ab} = \frac{BC}{AB}$ und also auch

$$P = Q\frac{BC}{AB},\quad P \cdot AB = Q \cdot BC \text{ und } P : Q = BC : AC.$$

Je kleiner also die Höhe ist, um so geringer wird die Kraft P sein müssen, die man braucht, um der Last Q das Gleichgewicht zu halten.

Die Anwendungen dieser schiefen Ebene im gewöhnlichen Leben sind äußerst häufig. Man hat jedesmal eine solche, wenn ein Wagen den Berg hinauf fährt. Alsdann ist der Wagen an die Stelle von Q zu setzen, während das Pferd in derselben Richtung zieht, in welcher in Fig. 11 die Kraft P mit Hülfe der Schnur wirkt. Je steiler der Berg, um so größer wird die Anstrengung des Pferdes sein, um den Wagen, der fortwährend herabfallen will, aufzuhalten. Dann kommt noch als zweite Arbeit hinzu, den Wagen aufwärts zu bringen, was geschieht, wenn P . AB größer ist als Q . AC.

Im zweiten Falle wird die Last Q wie im ersten in der Richtung der Schwere ba (Fig. 12) zu fallen suchen, da sie aber auch hier nicht durch die Ebene hindurch zu fallen vermag, so kommt von der Kraft ab wieder nur die Seitenkraft bc in Ausübung. Die Kraft, mit der die Last abwärts zu bringen sucht, ist also wieder statt Q nur $Q \cdot \frac{bc}{ab}$. Auch die Kraft P kommt nicht ganz in Anwendung, denn sie zieht nach bh und es wirkt nur die nach e gerichtete Seitenkraft, welche sich zu der ganzen Kraft verhält wie be zu bf. Es muß daher für den Fall des Gleichgewichtes sein $P \frac{be}{bf} = Q \cdot \frac{bc}{ab}$. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke abc und ABC ergibt sich $\frac{be}{ab} = \frac{BC}{AB}$ und aus der Aehnlichkeit der Dreiecke bef und ABC findet man $\frac{bc}{bf} = \frac{AC}{AB}$; also wird im Falle des Gleichgewichtes

$$P \cdot \frac{AC}{AB} = Q \cdot \frac{BC}{AB}, \; P \cdot AC = Q \cdot BC,$$

$$P = Q \cdot \frac{BC}{AC} \text{ und } P : Q = BC : AC.$$

Eine Anwendung dieses Principes sieht man an jeder Thürklinke, wobei jedoch die Wirkung der Schwere durch die einer elastischen Feder ersetzt ist. Auch hier muß Q über die schiefe Ebene AB hinauf. Indem man beim Zumachen der Thüre horizontal auf dieselbe drückt, übt man einen Druck von b gegen h aus, ob man aber in h zieht, wie dieses die Figur vorstellt, oder ob man in b schiebt, ist vollkommen gleichgültig.

Die Schraube besteht aus einem Cylinder, um welchen herum eine schiefe Ebene geht, wie man leicht sehen kann, wenn man ein aus Papier ausgeschnittenes rechtwinkeliges Dreieck um einen Cylinder herumwickelt. Was bei der geraden schiefen Ebene die Basis, das ist hier die Peripherie des Cylinders, was dort die Höhe, ist hier die Weite eines Schraubenganges.

Eine weitere höchst ausgedehnte Anwendung findet die schiefe Ebene im Keile. Hier ist die Kraft der Schlag, womit man denselben parallel mit der Basis der Ebenen der bisherigen Figuren vorwärts bewegt, während das

durch den Keil zu trennende Material, die Last Q in der auf die Ebene senkrechten Richtung (bd in Fig. 11 u. 12) Widerstand leistet. Als Keile wirken sämmtliche schneidende und stechende Instrumente, Messer, Beile, Nadeln, Meißel, Degen u. s. w.

§. 34. Die Wirkung einer Kraft wird nicht geändert, wenn man den Angriffspunct derselben von einem in ihrer Richtung befindlichen Puncte in einen andern verlegt. Ein an einem Nagel durch Vermittlung eines Strickes hängendes Gewicht übt auf den Nagel stets den gleichen Einfluß aus, an welcher Stelle des Strickes es auch hängen mag. Für den Fall also, daß Richtungen und Angriffspuncte mehrerer Kräfte in dieselbe Gerade fallen, finden die Sätze des §. 29 ihre Anwendung.

Wirken zwei Kräfte von verschiedenen Richtungen P und Q (Fig. 13) an verschiedenen Angriffspuncten a und b einer unbiegsamen Geraden, so kann man sich den Angriffspunkt einer jeden in irgend einen beliebigen Punct verlegt denken, der in ihrer Richtung liegt. Es wird die Richtung der Kraft P nicht geändert, an was immer für einem Puncte der Geraden ac oder ihrer Verlängerung man sie als angreifend annimmt, so lange man nur an ihrer Richtung und Stärke nichts modificirt. Dasselbe gilt für die Kraft Q in Beziehung auf die Linie bc oder ihre Verlängerung. Der Punct c ist der gemeinschaftliche Durchschnittspunct beider Richtungen, und nimmt man ihn als gleichzeitigen Angriffspunct von P und Q, indem man beide ohne Aenderung der Größe und Richtung dorthin verlegt, so kann man nach §. 30 auch die Resultirende R der Größe und Richtung nach erhalten. Auch bei dieser läßt sich der Angriffspunct wieder verlegen, und bringt man ihn in die Gerade ab, so ergibt sich, daß die Gesammtwirkung von P und Q einer Kraft R gleichkommt, welche in der Richtung cd thätig ist und durch den Punct o geht. Sollen daher P und Q durch Einführung einer dritten Kraft im Gleichgewicht gehalten werden, so muß letztere von gleicher Größe mit R in o angreifen, und in dem der Kraft R entgegengesetzten Sinne thätig sein.

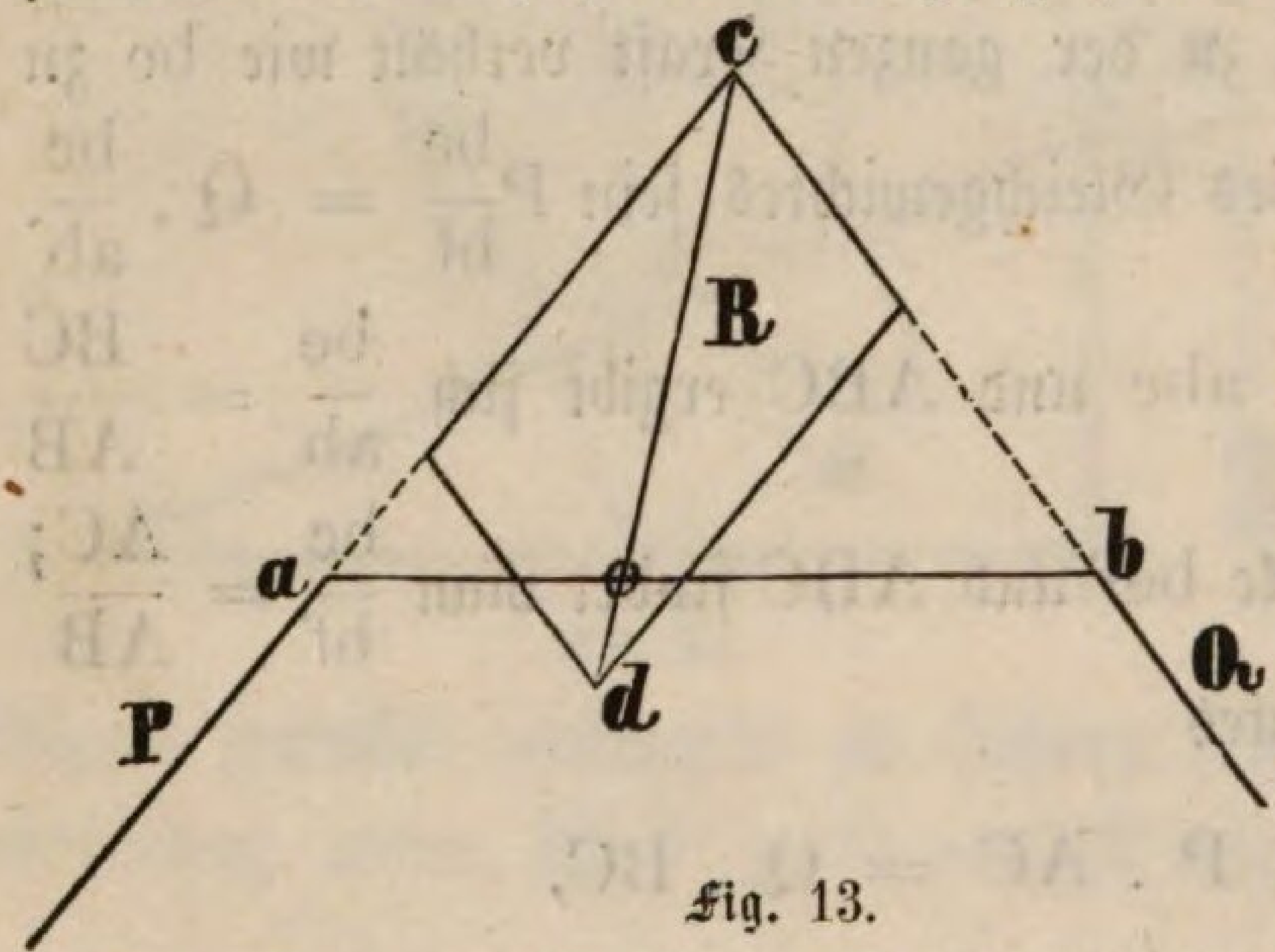


Fig. 13.

§. 35. Wenn die Richtungen zweier Kräfte P und Q (Fig. 14) parallel sind und die Verbindungslinie ab ihrer Angriffspuncte nicht mit ihrer Richtung zusammenfällt, so kann es eben des Parallelismus wegen keinen Durchschnittspunct beider Richtungen geben, und das im vorigen Paragraphe angegebene Verfahren läßt sich darum auch nicht unmittelbar anwenden. Wirken die Kräfte P und Q an den Angriffspuncten a und b, so wird ihr Effect offenbar dadurch nicht geändert, wenn man die 2 in der Richtung der Geraden ab wirkenden, einander der Größe nach gleichen, der Richtung nach sich entgegengesetzten, also sich aufhebenden Hülfskräfte ac und bd einführt. Sucht man nun

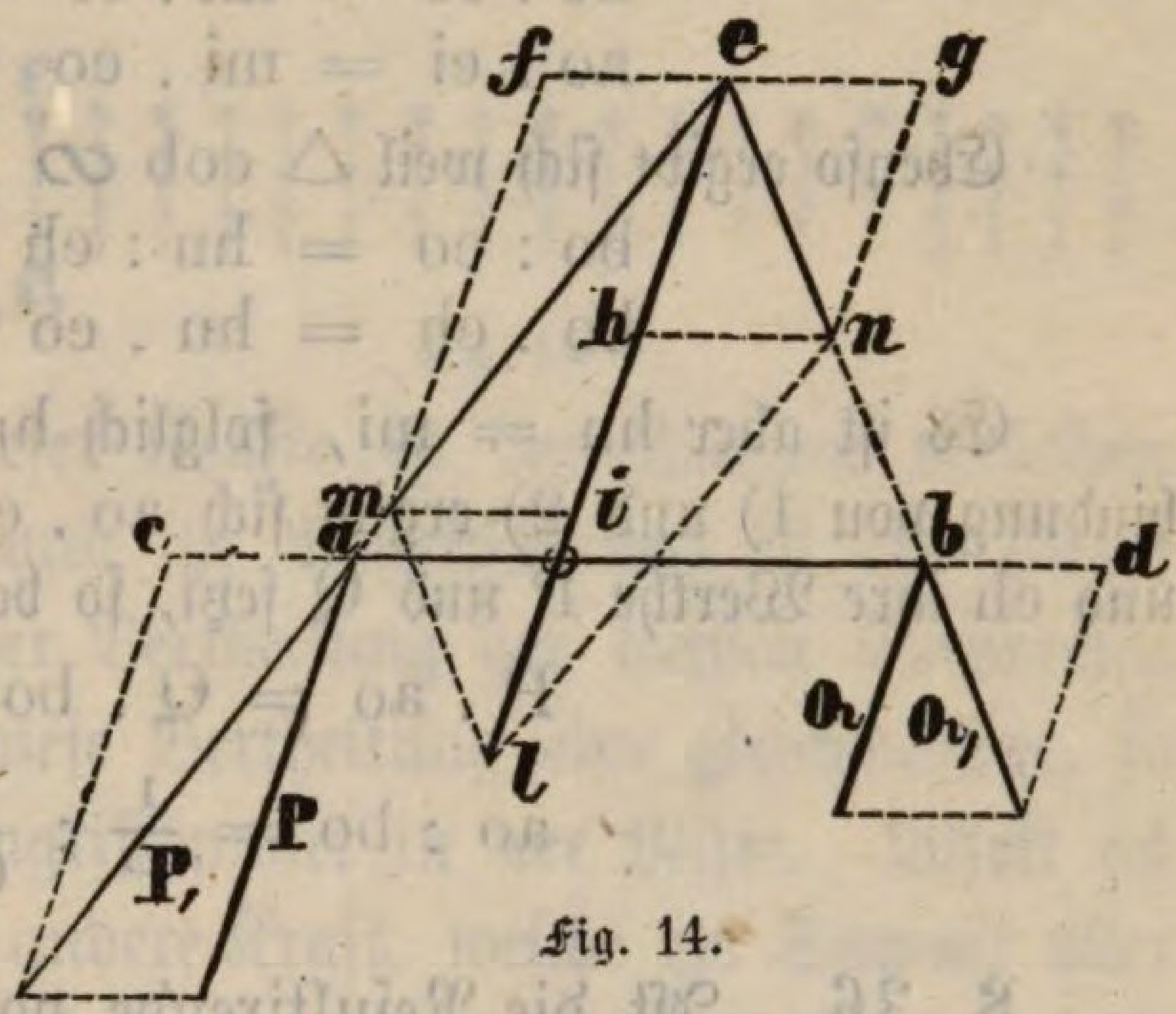


Fig. 14.

nach dem in §. 30 angegebenen Verfahren die Resultirende von P und ac einer= und Q und bd andererseits, so erhält man P_1 und Q_1, deren Angriffspuncte sich nach §. 34 von a und b nach e verlegen lassen. Dort wirken nun em $= P_1$ in der Richtung ea, en $= Q_1$ in der Richtung eb, und man kann jetzt zweierlei Verfahren einschlagen. Entweder zerlegt man die nun in e angreifenden Kräfte P_1 und Q_1 wieder in die Seitenkräfte ef, ei und eg, eh und findet so die sich einfach summirenden Kräfte ei $=$ P und eh $=$ Q, während ef und eg sich aufheben, oder man sucht nach §. 30 unmittelbar die Resultirende der nach e verlegten P_1 und Q_1 und erhält el. Das Resultat beider Operationen ist das gleiche.

Die beiden Kräfte P und Q wirken daher gerade so wie eine dritte Kraft, deren Größe $= P + Q$, deren Richtung diesen beiden parallel ist und deren Angriffspunct sich in e befindet. Diesen Angriffspunct kann man wieder dahin verlegen, wo die Richtung der Kraft die Linie ab schneidet, also nach o. Handelt es sich darum, eine Kraft einzuführen, welche den beiden Kräften P und Q Gleichgewicht hält, so muß diese wieder der Resultirenden derselben gleich und der Richtung nach entgegengesetzt sein und durch den Punct o gehen.

Die Resultirende der Kräfte P und Q theilt die Verbindungslinie ab so, daß das Product der Componirenden in den ihr anliegenden Abschnitt von ab auf beiden Seiten gleich wird. Man hat daher

P . ao = Q . bo. Die von der Resultirenden gemachten Abschnitte verhalten sich umgekehrt wie die componinirenden Kräfte d. i.

$$ao : bo = \frac{1}{P} : \frac{1}{Q}.$$

Aus den ähnlichen Dreiecken aoe und mie erhält man

$$ao : eo = mi : ei$$

$$ao . ei = mi . eo \quad . \quad . \quad 1)$$

Ebenso ergibt sich weil △ eob ∽ △ ehn

$$bo : eo = hn : eh$$

$$bo . eh = hn . eo \quad . \quad . \quad 2)$$

Es ist aber hn = mi, folglich hn . eo = mi . eo und durch Verbindung von 1) und 2) ergibt sich ao . ei = bo . eh. Wenn man statt ei und eh ihre Werthe P und Q setzt, so bekommt man

$$P . ao = Q . bo$$

$$ao : bo = \frac{1}{P} : \frac{1}{Q}.$$

§. 36. Ist die Resultirende von mehr als 2 parallelen Kräften zu suchen, so verfährt man wie in §. 30 in der Weise, daß man zuerst die Resultirende von 2 Kräften bestimmt, diese mit der dritten verbindet u. s. w. Die Bestimmung der Resultirenden einer großen Menge von parallelen Kräften kommt vorzugsweise in Anwendung, wenn es sich um das Resultat der Einwirkungen handelt, welche die Erde in Folge der Schwere auf die Körper, die wir auf der Erdoberfläche finden, ausübt. Jedes Theilchen der Erde zieht jedes Theilchen des Körpers an. Die Anziehungen der Erde legen sich, insoweit letztere als eine homogene Kugel oder als eine solche betrachtet werden kann, welche aus lauter concentrischen Kugelschalen besteht, deren jede für sich homogen ist, so zusammen, als sei die Gesammtmasse in dem Mittelpuncte vereinigt, und es werden daher sämmtliche Körper so angezogen, daß sie sich dem Mittelpuncte des Planeten zu nähern streben. Die Anziehungen, die ein Körper von einiger Ausdehnung erfährt, convergiren also alle nach einem Puncte, dem Erdcentrum; da aber dieses im Verhältniß zu der Ausdehnung der Körper, mit denen wir zu thun haben, sehr weit entfernt ist, kann man ohne merkbaren Fehler annehmen, daß die sämmtlichen Anziehungsrichtungen, welche die verschiedenen Theile des Körpers erfahren, unter einander parallel seien, und die Aufsuchung der Gesammtwirkung der Erdanziehung auf einen irdischen Körper reducirt sich daher auf das Problem der Zusammenlegung von parallelen Kräften.

Nimmt man zuerst an, es sei die Wirkung zu untersuchen, welche die Schwere auf eine aus einer Reihe von materiellen Puncten bestehende Gerade (Fig. 15) ausübt, so hat man letztere als aus einer Menge kleiner Körperchen a, b u. s. w. zusammengesetzt zu denken, und da alle diese sich der Erde zu nähern streben, ist der Effect gerade so, als sei jedes Körperchen der Angriffspunct einer Kraft a_1, b_1 u. s. w., welche Kräfte alle unter einander parallel sind.

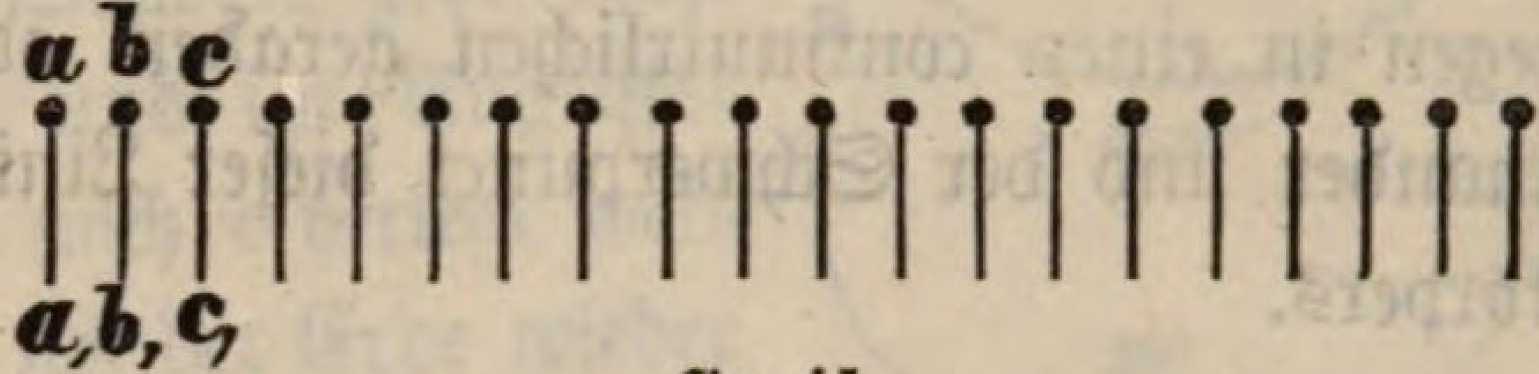


Fig. 15.

Die Resultirende aller dieser Kräfte ist der Summe derselben gleich, besitzt dieselbe Richtung und ihr Angriffspunct ist ein Punct der Geraden, dessen Lage von der Vertheilung der kleinen Körperchen in derselben abhängig ist. Ist diese Vertheilung eine gleichmäßige, so ist auch natürlicher Weise der Angriffspunct in der Mitte. Wirkt an diesem Angriffspuncte noch eine andere Kraft, welche der Summe aller gleich aber ihnen der Richtung nach gerade entgegengesetzt ist, so erhält man Gleichgewicht. Man erhält aber nach §. 27 auch Ruhe, wenn dieser Punct durch eine Unterlage unterstützt ist. Dadurch, daß bei Unterstützung dieses einen Punctes die ganze Gerade in Ruhe bleibt und sich eben so verhält, als seien ihre übrigen Puncte der Schwere gar nicht unterworfen, wird dieser Angriffspunct gewissermaßen zum Repräsentanten der ganzen Schwere, es ist, als sei die gesammte materielle Substanz in ihm concentrirt und darum heißt dieser Punct auch der **Schwerpunct**.

Hat man eine Fläche, z. B. ein Viereck, in welchem die materiellen Puncte zerstreut sind (Fig. 16), so kann man sich dieselbe als aus einer ganzen Menge materieller Parallellinien zusammengesetzt denken, von denen jede ihren Schwerpunct hat. Ist ab die Gerade, welche alle diese Schwerpuncte verbindet, so repräsentirt sie die Schwere sämmtlicher materiellen Puncte der ganzen Fläche, denn die Schwerpuncte aller in dieser enthaltenen Geraden befinden sich in ihr, und wenn man nun wieder denjenigen Punct in ihr aufsucht, der das Gewicht aller ihrer einzelnen Puncte repräsentirt, so ist dieser der **Schwerpunct der ganzen Fläche**. Ist die Fläche regelmäßig construirt, so kann auch die Lage ihres Schwerpunctes

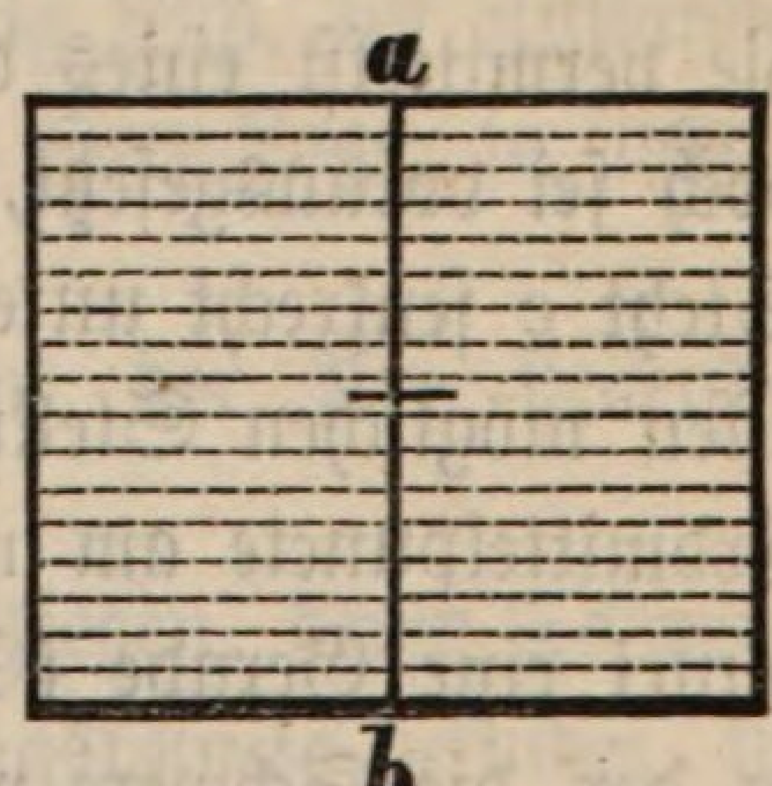


Fig. 16.

durch Construction aufgefunden werden, was bei unregelmäßigen Flächen nicht so leicht oder gar nicht gelingt.

Hat man mit einem Körper zu thun, so kann man denselben in Fortsetzung des eben erwähnten Verfahrens in Flächen getheilt denken, von denen jede ihren Schwerpunct hat; alle diese Schwerpuncte liegen in einer continuirlichen geraden oder gebrochenen Linie hinter einander und der Schwerpunct dieser Linie ist wieder der des ganzen Körpers.

Wie bei den Flächen läßt sich auch bei den Körpern die Lage des Schwerpunctes nur dann durch Construction auffinden, wenn sie regelmäßig gestaltet sind. Bei ungleichförmig zusammengesetzten Körpern kann man sie nur durch Versuche bestimmen, von denen weiter unten gesprochen werden soll. Bei vielen Körpern fällt der Schwerpunct sogar außerhalb derselben, wie dieses z. B. bei einem gebogenen Drahte der Fall ist. Bei der homogenen und der aus concentrisch gelagerten, für sich homogenen, aber unter einander verschiedenen Schalen zusammengesetzten Kugel ist der Schwerpunct im Centrum.

§. 37. Wenn (§. 36) der Schwerpunct des Körpers der Vertreter seiner ganzen Masse ist, so kann man sich auch das sämmtliche Gewicht derselben als in ihm vereinigt vorstellen. Die auf den Körper wirkende Schwere hat in ihm ihren Angriffspunct, und soll daher der Körper in Ruhe sein, so muß nach §. 35 seine Schwere durch eine Kraft aufgehoben werden, die ebenfalls im Schwerpuncte angreift, aber der Schwerewirkung gleich und ihr der Richtung nach entgegengesetzt ist. Außerdem kann (§. 27) ein Körper noch in Ruhe sein, wenn sein Schwerpunct unterstützt ist; doch beobachtet man hier noch verschiedene Fälle.

Es sei (Fig. 17) in c der Schwerpunct einer homogenen Scheibe, die vermittelst eines durch das Loch a gesteckten Zapfens aufgehängt ist, doch sei vorausgesetzt, daß sie sich leicht um den Zapfen drehen lasse. Steht c senkrecht unter a, so ist in diesem Falle der Schwerpunct unter allen möglichen Stellungen, die wir der Scheibe geben können, dem Erdmittelpuncte am nächsten. Zieht man von a gegen den Erdmittelpunct eine Gerade (Senkrechte), so geht diese durch c. Die Richtung, in der die Schwere wirkt, fällt mit dieser Geraden zusammen. Nach §. 34 kann der Angriffspunct einer Kraft an beliebige innerhalb ihrer Richtung liegende Puncte, also auch hier von c nach a verlegt werden,

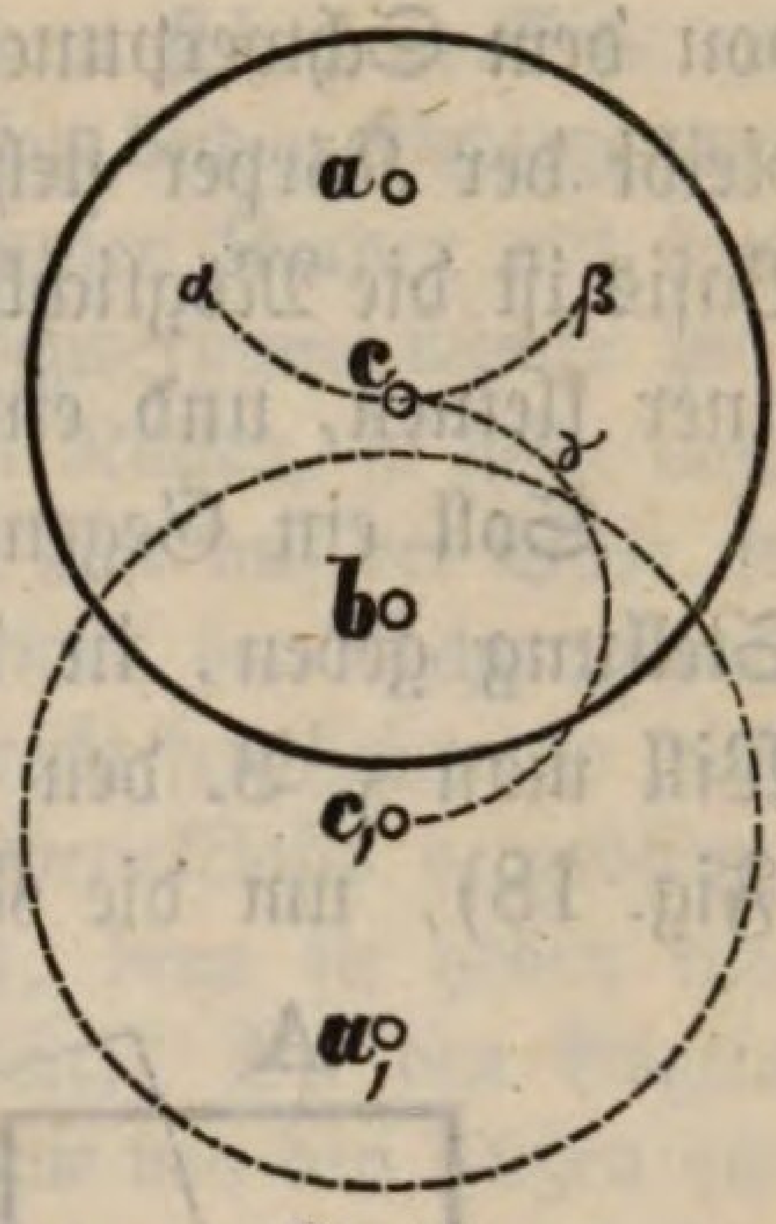


Fig. 17.

und da a unterstützt ist, so ist es auch der ganze Körper, derselbe ist also in Ruhe. Aendern wir diesen Zustand dadurch, daß wir an die Scheibe stoßen, so wird der Schwerpunct gegen α oder β hingehen, allein jetzt steht c nicht mehr senkrecht unter a, die Richtung der Schwere geht nicht mehr durch den Stützpunct, und ihr Angriffspunct kann daher nicht mehr nach c verlegt werden; der Schwerpunct sucht sich der Erde wieder zu nähern, und es wird nicht eher Ruhe eintreten, als bis die ursprüngliche Stellung, die des *stabilen Gleichgewichtes* wieder eingetreten ist. Ist der Zapfen durch das Loch c selbst gesteckt, so ist der Schwerpunct unmittelbar unterstützt, und man kann die Scheibe drehen wie man will, sie wird jederzeit stehen bleiben, denn es fällt der Angriffspunct der Schwere jedesmal mit dem Stützpuncte zusammen. Es ist dieses die Stellung des *indifferenten Gleichgewichtes*. Geht aber der Zapfen durch das Loch b, so ist die Scheibe auch ruhig, so lange c genau senkrecht über b ist, sowie aber c nur um's Geringste nach der Seite etwa gegen γ hin gebracht wird, so fällt die von ihm aus gezogene Senkrechte nicht mehr durch den Unterstützungspunct, und der Schwerpunct sucht sich jetzt der Erde zu nähern; allein hier wird nicht mehr der ursprüngliche Stand hergestellt, denn bei diesem ist der Schwerpunct in der möglichst größten Entfernung von dem Erdmittelpuncte, sondern die Scheibe schlägt ganz um und es wird erst wieder Ruhe sein, wenn c senkrecht unter b in c_1 und a in a_1 ist. Hier ist ein anderer Stand des Gleichgewichtes eingetreten, wir haben wieder stabiles Gleichgewicht. Die Stellung der Ruhe, in welcher der Schwerpunct möglichst weit vom Erdmittelpuncte entfernt ist, heißt *labiles Gleichgewicht*.

Alle hängenden Körper sind, wenn sie ruhig sind, im Zustande des stabilen Gleichgewichtes; entfernt man sie aus ihrer Lage, so suchen sie dasselbe wieder herzustellen.

Im indifferenten Gleichgewichte ist das an der Axe steckende Wagenrad.

Bei denjenigen Körpern, welche stehen oder liegen, deren Schwerpunct also jedenfalls sich *über* dem Unterstützungspuncte befindet, ist die Basis, diejenige Fläche, in welcher sich die Berührungspuncte des Körpers und der Unterlage befinden, von großem Einflusse. Fällt eine

von dem Schwerpuncte gezogene Senkrechte innerhalb dieser Basis, so bleibt der Körper stehen, wenn nicht, so fällt er um. Bei einer großen Basis ist die Möglichkeit, daß die Senkrechte hineinfalle, größer als bei einer kleinen, und ein Körper mit großer Basis steht daher fester.

Soll ein Gegenstand umgestürzt werden, so muß man ihm eine Stellung geben, in der sein Schwerpunct nicht mehr unterstützt ist. Will man z. B. den Körper A, dessen Schwerpunct in G sein möge (Fig. 18), um die Kante c drehen, so muß man ihm die Stellung

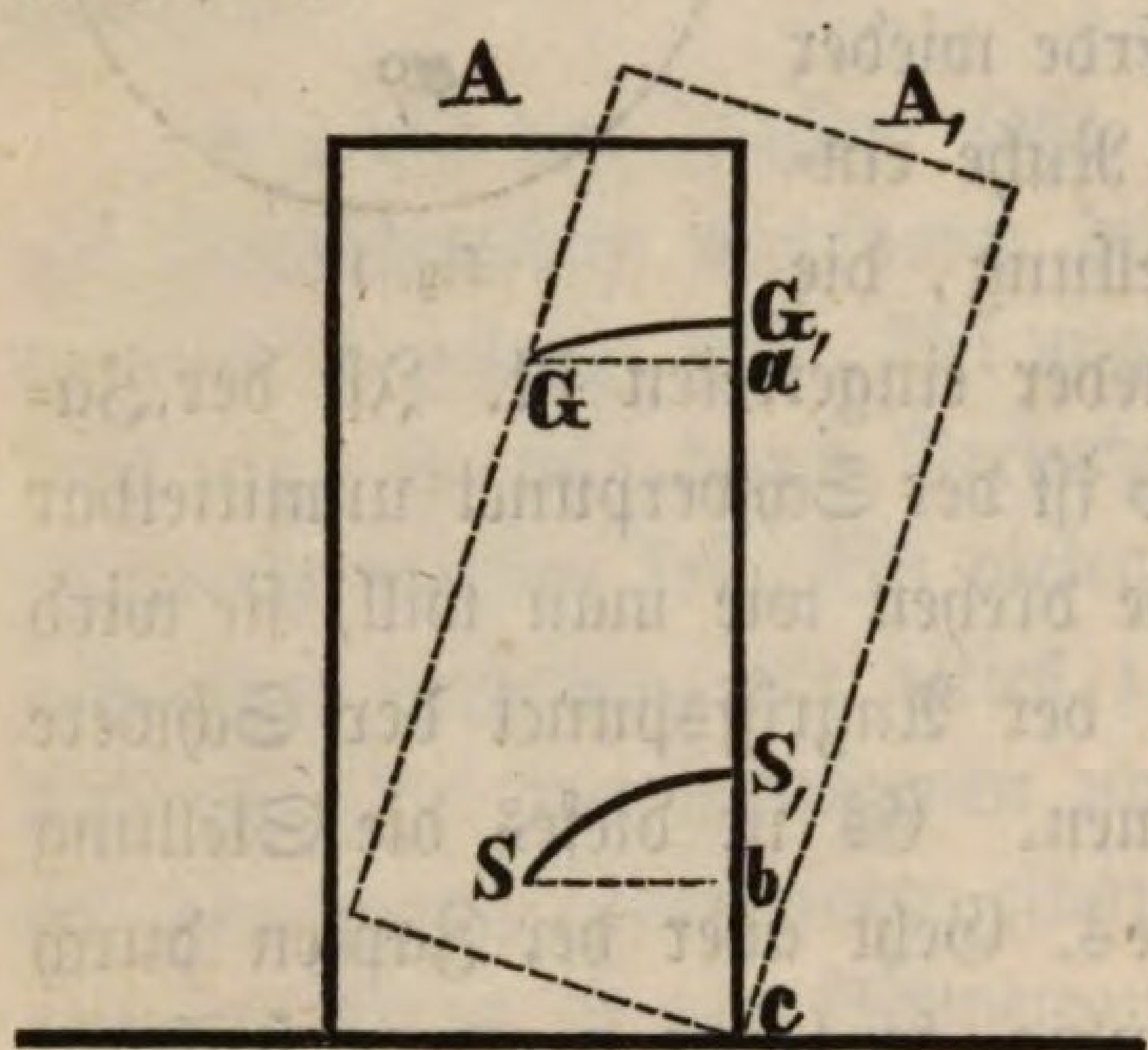


Fig. 18.

A_1 geben. Hiebei beschreibt der Schwerpunct den Bogen GG_1, und da er der Repräsentant der ganzen Masse des Körpers ist, so ist zur Umstürzung dieses letzteren eben so viel Kraft nöthig, als man braucht, um dessen ganze Last von a bis G_1 zu heben. Ist also die Masse sehr groß, so ist der Körper auch schwer umzustürzen. Wäre der Schwerpunct des Körpers ursprünglich in S statt in G, so würde er beim Umstürzen von der Höhe b bis S_1 gehoben werden müssen. Ein Körper steht also um so fester, je tiefer sein Schwerpunct liegt. Die Betrachtung des Weges, den der Schwerpunct zurücklegt, zeigt, daß der Widerstand des Körpers am Anfange größer ist, denn die Curve ist dort steiler; ist (den Schwerpunct in G angenommen) die Stellung A in die Stellung A_1 übergegangen, so ist die kleinste Kraft hinreichend, den Körper ganz umzuwerfen, und fällt die vom Schwerpunct aus gezogene Senkrechte über c hinaus, so fällt der Körper von selbst.

Bei dem aufrecht stehenden Menschen ist der Schwerpunct etwa in der Mitte des Unterleibes, und die von ihm aus gezogene Senkrechte fällt in das Trapez, welches die Füße bestimmen. Will man auf einem Fuße stehen, so muß die ganze Stellung des Körpers sich nach dieser Seite schieben, die Basis ist bedeutend kleiner, und man steht daher weniger fest; es ist aber das Stehen auf einem Fuße unmöglich, wenn die seitliche Verschiebung des Oberkörpers verhindert wird. So kann man nicht, wenn man sich etwa mit der linken Seite so an eine Wand anlehnt, daß der linke Fuß die Wand berührt, den rechten Fuß aufheben und stehen bleiben. Durch die verschiedenen Stellungen, die wir einnehmen, kann die Lage des Schwerpunctes geändert werden. So fällt bei dem Sitzen die von ihm aus gezogene Senkrechte nicht mehr zwischen die Fußsohlen, dieses muß aber sein, wenn wir aufstehen wollen und zu diesem Zwecke neigen wir den Oberkörper nach vorwärts, oder wir

bringen die Füße unter den Stuhl. Kein Mensch kann sich vom Sitze erheben, wenn ihm nicht die eine oder die andere dieser beiden Bewegungen gestattet wird. Wenn wir etwas tragen, so bildet unser Körper mit dem getragenen Gegenstande ein System, dessen Gesammtschwerpunct wieder zwischen die Füße fallen muß; trägt man daher auf dem Rücken, so neigt man den Körper nach vorne und umgekehrt. Hat man die Last auf der Seite, so sucht man durch Ausstrecken des entgegengesetzten Armes den Schwerpunct nach der Seite dieses Armes zu bringen. Will man recht fest stehen, so wird durch Auseinandersetzen der Füße die von diesen angegebene Basis vergrößert. Die vierfüßigen Thiere stehen fester als der Mensch, denn sie haben eine größere Basis, die von ihren Füßen begränzte Fläche. Bei den Vögeln kommt, wenn dieselben stehen, der Schwerpunct über die von den Füßen angegebene Basis, wenn sie fliegen ist er unter der Verbindungslinie der beiden Flügel, an der gewissermaßen der Vogel aufgehängt ist. Zu dieser Verlegung des Ortes des Schwerpunctes dient das Ausstrecken des Halses und Anziehen der Füße während des Fliegens. Vögel, die mit ausgestreckten Beinen fliegen wie z. B. der Storch, müssen einen sehr langen Hals haben.

Balanciren heißt einen Körper dadurch auf einer sehr kleinen Basis stehend zu erhalten, daß man diese Basis so oft verrückt, als die von dem Schwerpuncte aus gefällte Senkrechte über sie hinausfällt. Balancirt man auf der Hand, so fühlt man die Aenderungen im Stande des Schwerpunctes, die durch Zittern der Hand u. s. w. hervorgebracht werden, um so leichter, je schwerer der balancirte Gegenstand ist. Wird das Gewicht zu gering, so hört die Möglichkeit des Balancirens auf. Kein Mensch ist im Stande, eine Feder zu balanciren. Der Seiltänzer balancirt auf dem Seile, und ihm dient die mit Blei ausgegossene Balancirstange dazu, durch Hin- und Herschieben derselben den Schwerpunct immer über dem Seile zu erhalten.

Das Balanciren ist nur ein scheinbares, wenn man einen Körper zwar auf einer sehr kleinen Basis etwa einer Nadelspitze trägt, wenn aber der Schwerpunct desselben unter die Nadelspitze fällt, denn dann hängt eigentlich der Körper an dem Stützpuncte, und er kommt allemal in Ruhe, wenn sein Schwerpunct senkrecht unter der Spitze ist. So wird ein Draht (Fig. 19), an dessen beiden Enden Gewichte hängen, an irgend einem Puncte auf eine Nadelspitze gestellt, Gleichgewicht finden, wenn nur der Schwerpunct des Ganzen tiefer steht als die Nadelspitze. Eine kleine Geldmünze kann man ganz leicht auf einer Nadelspitze tragen, wenn man auf die Münze einen Kork legt, in welchen man einander gegenüber zwei schief abwärts gerichtete Gabeln gesteckt hat. Die Gabeln sind die Ursache, warum der Schwerpunct der ganzen auf der Nadel ruhenden Last unter den Stützpunct herabkommt.



Fig. 19.

§. 38. Die Eigenschaft des Schwerpunctes, sich in der Ruhelage immer senkrecht unter den Stützpunct zu stellen, gibt auch ein in vielen

Fällen sehr bequemes Mittel, seine Lage zu bestimmen. Hat man nämlich einen Körper von ganz unregelmäßiger Gestalt Fig. 20 in a aufgehängt, so ist sein Schwerpunct in der Senkrechten ab, die man durch ein an einer Schnur hängendes Gewicht bestimmt; hängt man den Körper an c auf, so ist der Schwerpunct in der Senkrechten cd; da er also gleichzeitig in den beiden Geraden ab und cd ist, diese aber nur einen einzigen gemeinschaftlichen Punct haben, so muß dieser der Schwerpunct sein. Es eignet sich dieses Verfahren vorzüglich für Flächen; bei Körpern ist es schwierig, die Fortsetzung des Fadens im Innern derselben zu verfolgen.

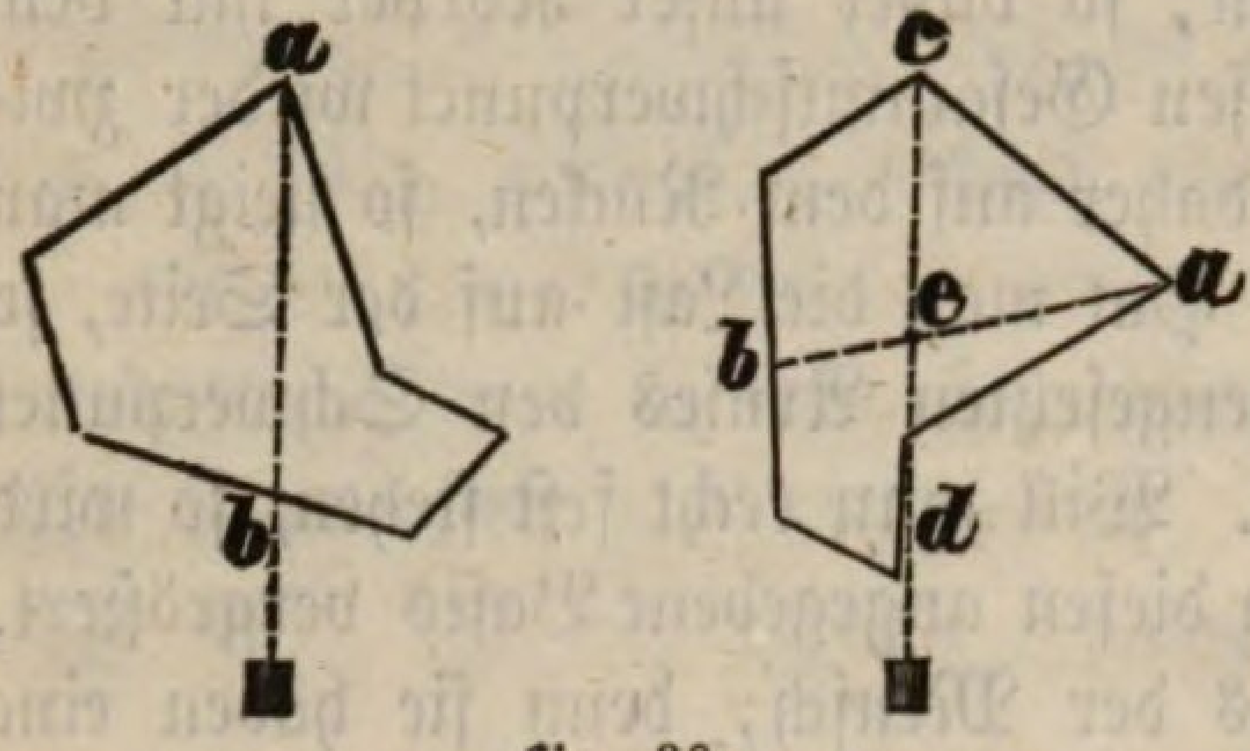


Fig. 20.

§. 39. Der Hebel ist eine unbiegsame Stange, welche sich um eine feste Gerade als Axe drehen läßt. An dieser Stange wirken an beliebigen Puncten Kräfte, die sie um die Axe zu drehen streben. Sieht man von dem Gewichte der Stange zunächst in der Weise ab, daß man sich einen sogenannten mathematischen Hebel aus lauter nicht schweren Puncten construirt und dem Einflusse der verschiedenen Kräfte ausgesetzt denkt, so ergeben sich die Hebelgesetze in der größten Einfachheit, doch muß man bei den Anwendungen im Experimente auf den aus materieller Substanz bestehenden physischen Hebel übergehen.

Stellt Fig. 21 einen solchen mathematischen Hebel vor, und sind P und Q die an a und b angreifenden parallelen Kräfte, so werden sie (§. 35) mit einander eine Resultirende haben, welche ihrer Summe gleich ist, und deren Angriffspunct sich zwischen a und b befindet. Ist dieser Angriffspunct in c, so wird die Wirkung der Kraft durch den Widerstand der Unterlage aufgehoben, und es herrscht Gleichgewicht. Nach den oben §. 35 angeführten Sätzen bestimmt sich die Lage des Angriffspunctes aus der Gleichung $ac : bc = Q : P$ oder $P . ac = Q . bc$.

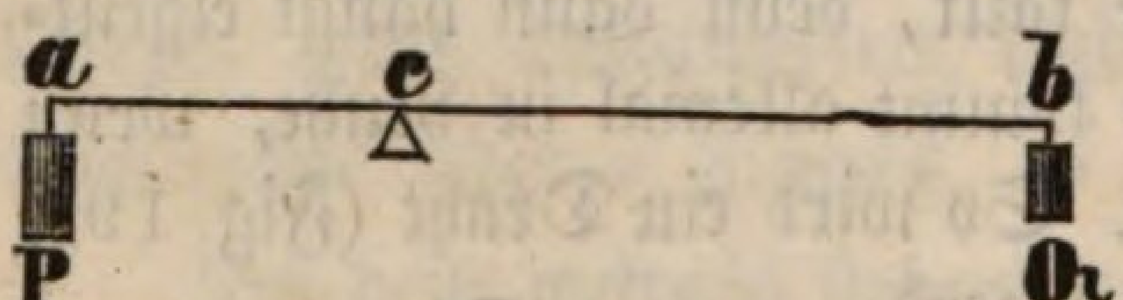


Fig. 21.

Bezeichnet man das Product einer Kraft, in den Abstand ihres Angriffspunctes von dem Unterstützungspuncte mit dem Namen statisches Moment, so läßt sich die vorstehende Gleichung ganz einfach so ausdrücken: Die statischen Momente müssen im Falle des Gleichgewichtes auf beiden Seiten des Unterstützungspunc-

tes gleich sein. Hat man (Fig. 22) auf der einen Seite 2 Gewichte p und p_1, die an den Puncten a und d aufgehängt sein mögen, so wird p mit q im Gleichgewichte sein, wenn ac . p = bc . q, andererseits ist p_1 mit q_1 im Gleichgewichte, wenn $dc . p_1 = bc . q_1$, und wir können unsern Satz in der Weise ausdehnen, daß wir sagen: Die Summe der statischen Momente muß auf beiden Seiten gleich sein. Nun ist es aber offenbar gleichgültig, ob wir q und q_1 unter einander hängen oder ob man ein einziges Gewicht $Q = q + q_1$ anwendet; es kann daher eine Kraft auf der einen Seite auch mehreren auf der andern das Gleichgewicht halten, und umgekehrt.

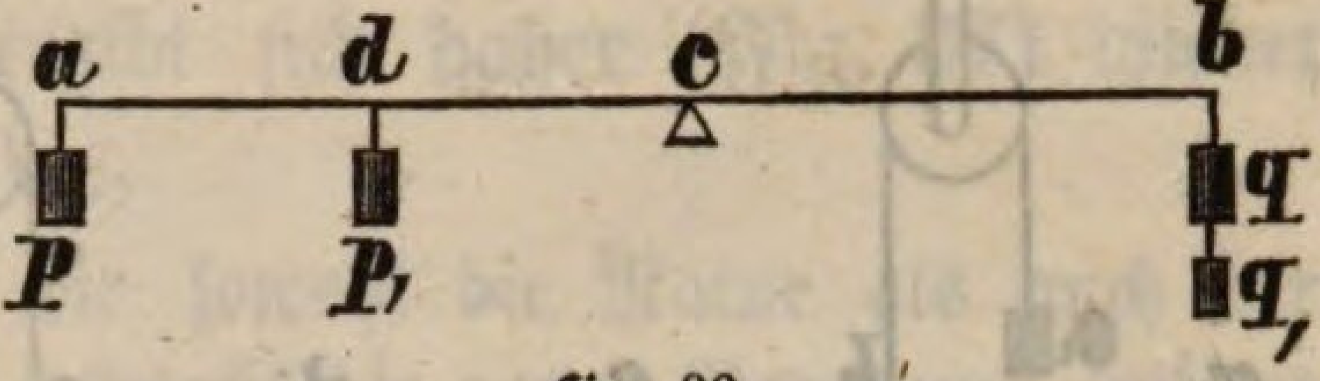


Fig. 22.

Da man mit mathematischen Linien, also auch mit mathematischen Hebeln nicht experimentiren kann, so ist es bei dem physischen Hebel nöthig, ihn dem mathematischen anzupassen. Der physische Hebel besteht aus einer ganzen Menge der Schwere unterworfener Theilchen, und hat wie jeder Körper seinen Schwerpunct. Ist (Fig. 23) dieser Schwerpunct in d, so kann man nach dem, was in §. 36 über den Schwerpunct gesagt wurde, annehmen, daß hier die ganze Masse der Hebelstange vertreten sei und daß sie so wirke, wie ein ihr gleiches an diesem Puncte angehängtes Gewicht. Ist das Gewicht der Stange gleich p_1, so ist ihr statisches Moment $p_1 . dc$, und dieses wird nun zu denjenigen gezählt, die auf der gleichen Seite wirken.

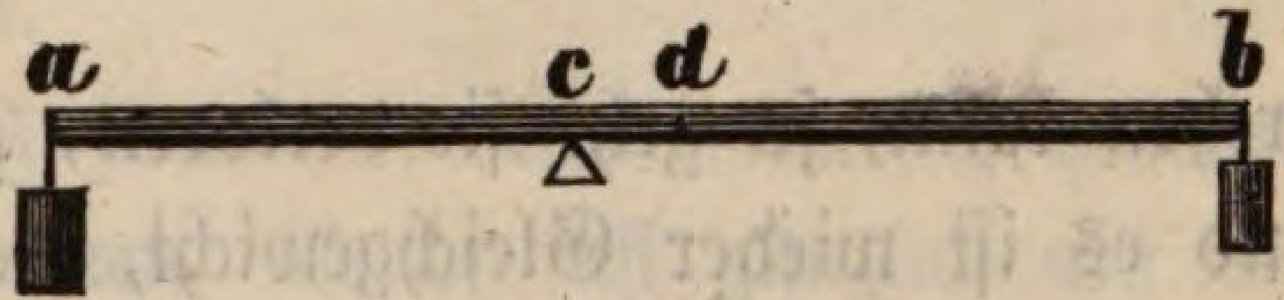


Fig. 23.

Die an den beiden Seiten des Stützpunctes c angebrachten Kräfte suchen den Hebel nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen, und wenn die beiden Wirkungen gleich sind, dreht sich der Hebel gar nicht, bleibt also in Ruhe. Dasselbe wird aber auch eintreten, wenn die Kräfte an einem und demselben Arme aber in entgegengesetzter Richtung wirken, wie dieses in Fig. 24 zu sehen ist. Es muß hier wieder Gleichgewicht eintreten, wenn die Summen der statischen Momente sich aufheben, d. i. wenn

P . ca = Q . bc.

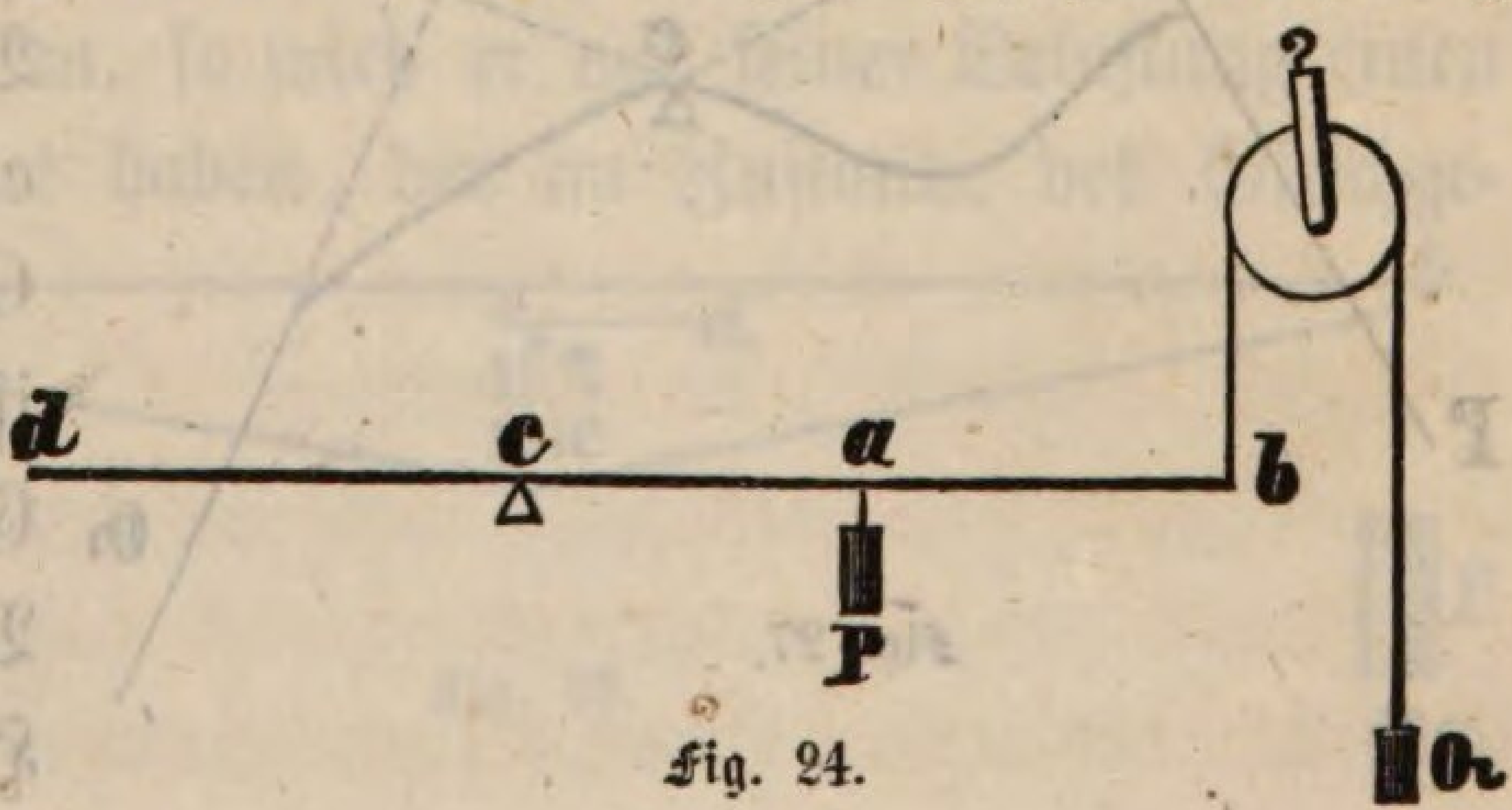


Fig. 24.

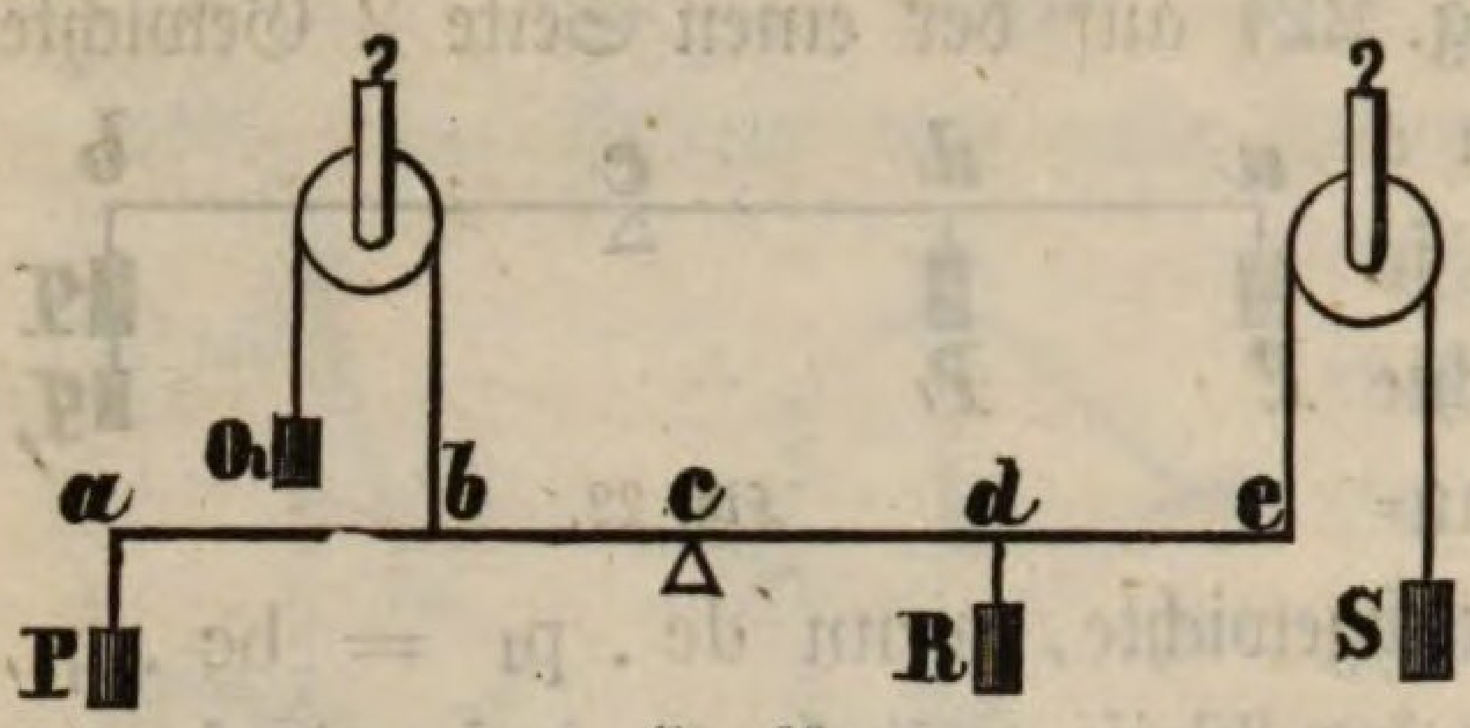


Fig. 25.

An dem Hebelarme cd links von c wirkt keine Kraft; man kann ihn daher gänzlich entbehren und es entsteht so der **einarmige Hebel**. Es können übrigens die verschiedenen Wirkungen sich auch verbinden, die Gleichgewichtsbedingung bleibt aber immer dieselbe. So tritt in Fig. 25 Ruhe ein, wenn P . ac — Q . bc = R . dc — S . ec.

Steht die Kraft Q (Fig. 26) nicht senkrecht auf dem Hebelarme, so kann man sie als aus 2 Componirenden bestehend betrachten, von denen die eine bd in der Verlängerung des Hebels, die andere Q_1 senkrecht auf demselben thätig ist. Die Kraft bd würde den Hebel in der Richtung von c nach b fortziehen, da dieser aber in solcher Weise nicht beweglich ist, sondern sich nur um c drehen kann, so geht sie verloren, es bleibt daher nur noch Q_1 übrig und es ist wieder Gleichgewicht, wenn P . ac = Q_1 . bc. Verlängert man die Gerade bl bis sie in f von einer aus c auf sie gezogenen Senkrechten getroffen wird, so ergibt sich wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke cbf und bgl die Gleichung

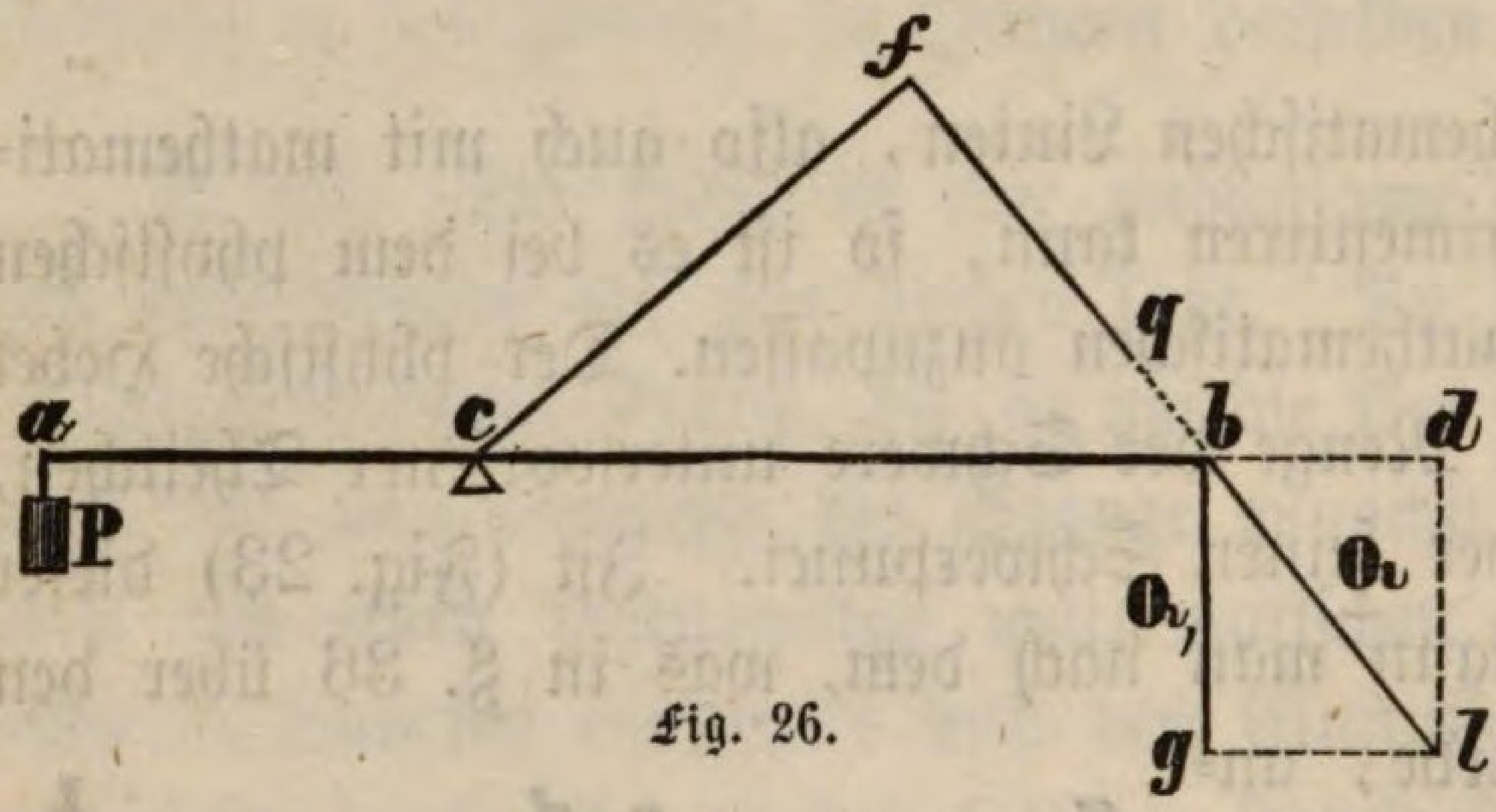


Fig. 26.

$$Q . cf = Q_1 . bc; \text{ es wird also } P . ac = Q . cf.$$

Das schiefziehende Q wirkt also gerade so, wie wenn es nur die Größe Q_1 hätte, oder wie wenn es mit seiner ganzen Stärke an dem Hebelarme cf thätig wäre. Wäre der Hebelarm bc nicht die Verlängerung des Armes ac, sondern gegen ihn unter irgend einem Winkel geneigt, wäre er etwa cf (Fig. 26), so wird, wenn Q senkrecht an cf angebracht ist, sein Moment Q . cf sein. Es kommt daher nicht auf den Winkel an, unter dem die Hebelarme zu einander stehen.

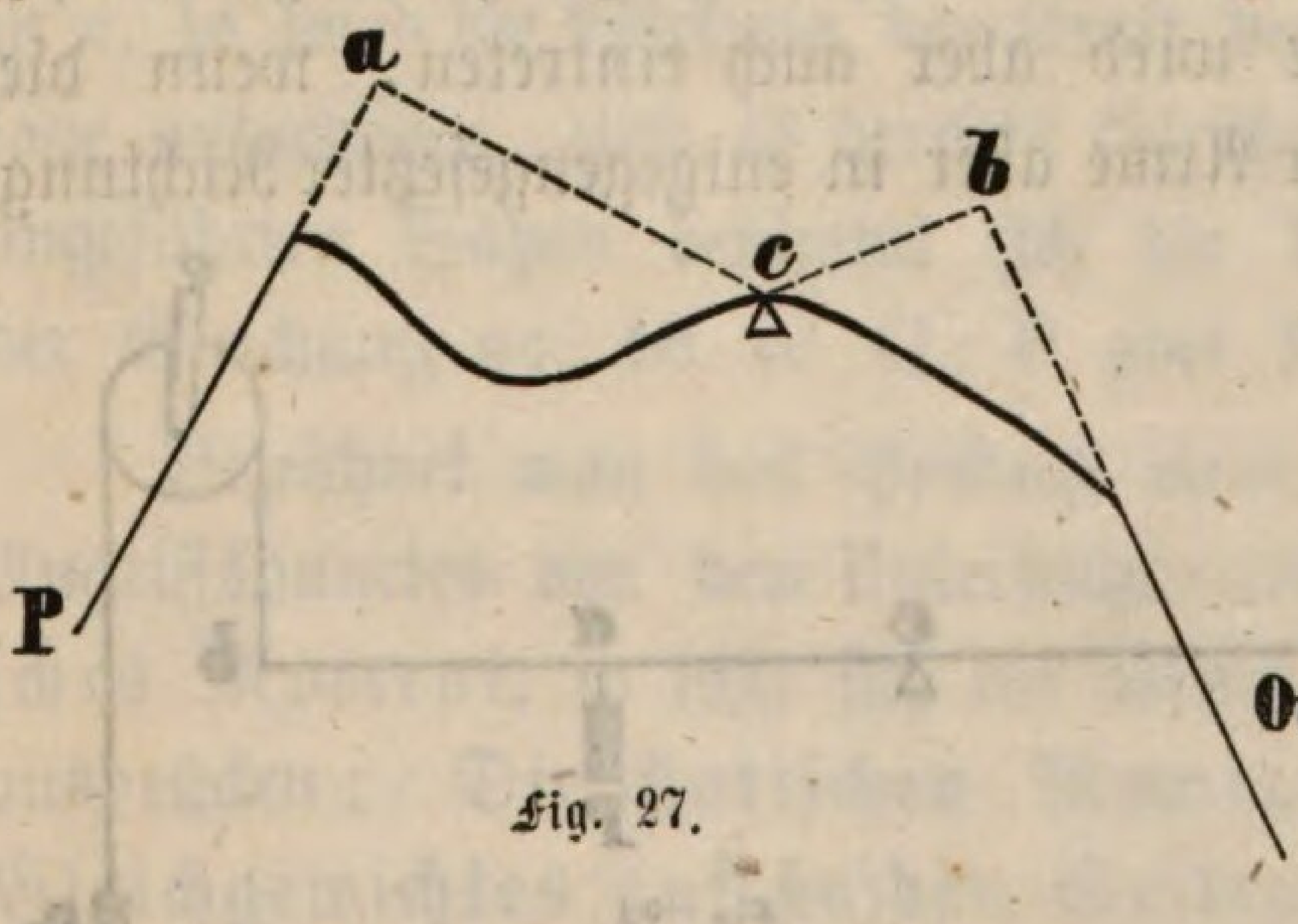


Fig. 27.

Eben so wenig ist die Gestalt der Hebelarme von Einfluß. Letztere können auch krumm sein und es ergibt sich daher (Fig. 27) wieder Gleichgewicht, wenn P . ac = Q . bc.

Der Anwendungen der Hebel, die sowohl die Natur als auch der Mensch macht, ist eine Unzahl. So gehorcht die ganze Bewegung unserer Glieder der Hebellehre. Die Knochen sind die Hebelarme, die darauf wirkenden Kräfte werden durch die Contractionen der Muskeln hervorgebracht, und zwar haben wir vorzugsweise einarmige Hebel. Es ist bekannt, daß man ein Gewicht bei ausgestrecktem Arme lange nicht so leicht trägt, als wenn man den Arm einbiegt. Der über die Achsel an den Oberarm gehende Musculus deltoideus bewirkt durch seine Contraction, daß der Arm in die Höhe geht. Ihm wirkt die Schwere des Armes als Last entgegen, vermöge deren bei Erschlaffung des Muskels das Glied herabsinkt. Hängt man noch ein Gewicht an den Arm, so wird die Aufgabe des Muskels um so mehr erhöht, je weiter das Gewicht von dem Stützpuncte des Hebels, der Achsel, entfernt ist, je größer also sein statisches Moment wird.

Anwendungen des Hebels an unsern Instrumenten sind die Handhaben der Zange, der Scheere, des Bohrers, das Brecheisen. Die Einrichtung derselben ist zunächst die, daß unsere Hand an dem längeren Arme thätig ist, wodurch eine stärkere Wirkung auf den an dem kürzeren Arme befindlichen Gegenstand ausgeübt wird. Die Häckselschneide und die jetzt meistens üblichen eisernen Nußknacker sind Beispiele von einarmigen Hebeln. Die Thürklinke und der Klingelhacken sind Winkelhebel.

§. 40. Die Wage, dasjenige Instrument, dessen man sich bedient, um die Masse der Körper zu bestimmen, beruht fast gänzlich auf der Anwendung der Hebelgesetze. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Stabe, dem Balken, welcher um eine feste horizontale Axe drehbar ist, die sich im gewöhnlichen Falle in der Mitte des Balkens befindet. An seinen beiden Enden hängen die Wagschalen, die zur Aufnahme der Gewichte und des zu wägenden Körpers dienen. Sind die beiden Wagschalen gleich belastet, so muß der Balken horizontal stehen, wenn nicht, so neigt er sich auf der Seite der größeren Belastung.

Stellt Fig. 28 einen solchen Wagbalken vor, der in c befestigt ist und an dem an den Aufhängepuncten a und b die Gewichte PP wirkend gedacht werden können, so wird er mit seiner Belastung einen gemeinschaftlichen Schwerpunct haben, der im Zustande des Gleichgewichtes senkrecht unter dem Aufhängepunct etwa in s sein möge. Fügt man auf der

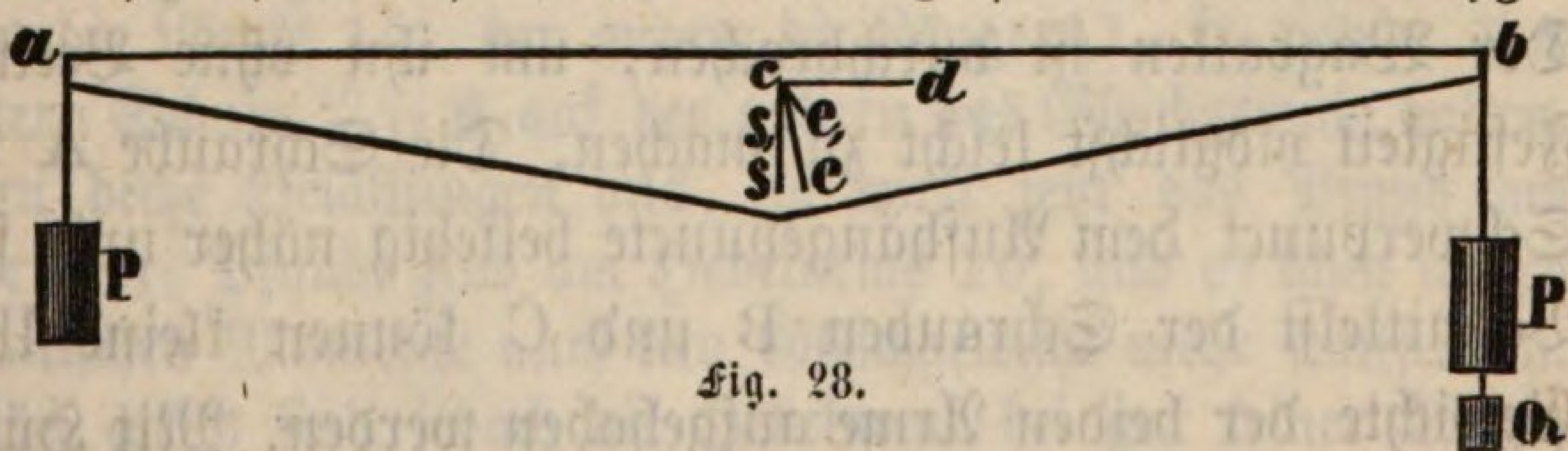


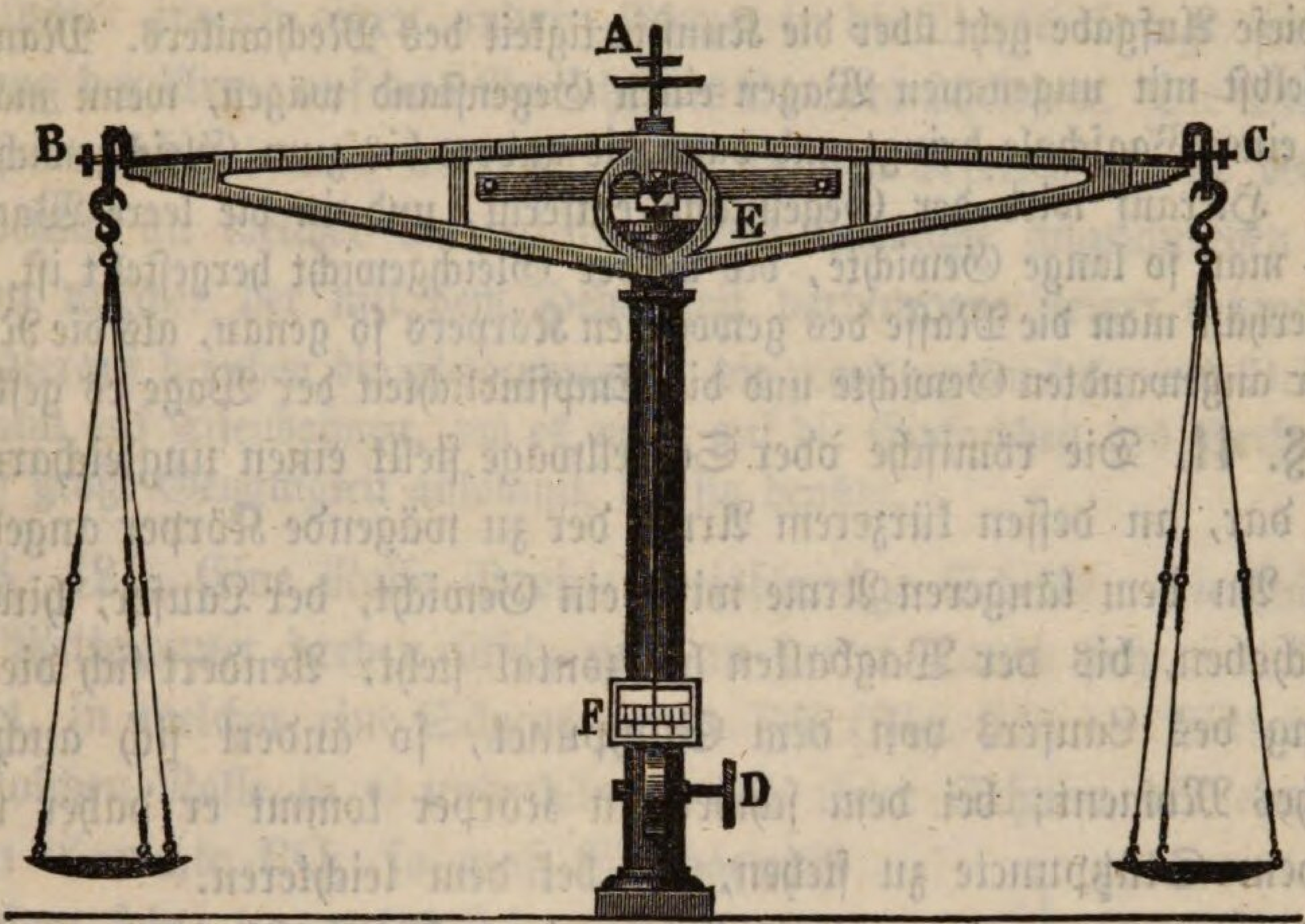
Fig. 28.

einen Seite noch das Gewicht Q bei, so ist der gemeinschaftliche Schwerpunct nicht mehr in s, sondern er ist gegen b fortgerückt und etwa in e angelangt. Jetzt ist aber der Schwerpunct nicht mehr senkrecht unter dem Aufhängepunct, es kann also nicht mehr Ruhe stattfinden, und der Balken dreht sich daher, bis e unter dem Stützpuncte ist. Der Winkel sce heißt der Ausschlagwinkel. Wäre s etwas näher an c, etwa in s_1, so würde der gemeinschaftliche Schwerpunct bei dem gleichen Uebergewichte nicht mehr nach e, sondern nach e_1 kommen. Der Ausschlagwinkel wäre s_1ce_1 also größer, und da man den größeren Ausschlagwinkel leichter beobachtet als den kleineren, so wird dadurch die Wage empfindlicher. Würde s mit c zusammenfallen, so würde sich e auf der Linie cd fortbewegen, und der Ausschlagwinkel wäre bei der geringsten Zulage Q ein Rechter, dadurch würde der Wagbalken ganz zum Umschlage gebracht, und das Instrument wäre unbrauchbar. Es soll also der Schwerpunct möglichst nahe an c stehen, darf diese Stelle jedoch nicht ganz erreichen. Je länger die Wagbalken sind, um so größer werden die Hebelarme, an denen die Belastungen wirken; dabei wächst das statische Moment der aufgelegten Belastungen, der Ausschlagwinkel und somit auch die Empfindlichkeit der Wage. Der Wagbalken soll daher möglichst lang sein.

Je größer das Gewicht des Wagbalkens an und für sich ist, um so weniger wird durch Anhängen eines kleinen Gewichtes in b die Lage des Schwerpunctes geändert, um so kleiner wird der Ausschlagwinkel. Der Wagbalken muß daher möglichst leicht sein.

Wenn übrigens die Einwirkung der Länge und der Schwere des Wagbalkens sich theoretisch sehr leicht nachweisen läßt, so hat doch die practische Ausführung ihre Gränzen, denn da die Wage auch fest sein muß, so wird der längere Wagbalken auch ein größeres Gewicht haben, und was man auf der einen Seite gewinnt, geht auf der andern wieder zum großen Theile verloren, wozu noch der Umstand kommt, daß mit der Größe der Wagbalken auch die Unbequemlichkeit in der Handhabung des Instrumentes wächst.

Fig. 29 gibt die Abbildung der Einrichtung einer feineren Wage. Der Wagbalken ist durchbrochen, um ihn ohne Beeinträchtigung der Festigkeit möglichst leicht zu machen. Die Schraube A dient dazu, den Schwerpunct dem Aufhängepuncte beliebig näher und ferner zu stellen. Vermittelst der Schrauben B und C können kleine Ungleichheiten im Gewichte der beiden Arme aufgehoben werden. Mit Hülfe der Schraube



D kann der Querstab E beliebig auf- und abgeschoben werden. Man kann auf diese Weise den Balken BC von dem Stützpuncte, einer feinen Schneide von Stahl, abheben, und verhindert so Beschädigungen derselben, die namentlich dann leicht eintreten können, wenn man Gegenstände in die Wagschalen bringt oder sie herausnimmt. Der am Wagbalken befestigte Zeiger läßt an dem Kreisbogen F den Ausschlagwinkel ablesen, und gibt an, ob der Balken horizontal steht oder nicht.

Man drückt die Empfindlichkeit einer Wage durch einen Bruch aus, dessen Nenner dasjenige Gewicht ist, welches sie im höchsten Falle ohne Nachtheil tragen kann, und dessen Zähler das kleinste Gewicht angibt, bei welchem sie unter der vorigen Belastung noch einen merklichen Ausschlag gibt. Man hat Wagen von Robinson, Pistor und Fortin, deren Empfindlichkeit über 0,0000005 beträgt. Wenigstens $^1/_{60000}$ Empfindlichkeit muß jede gute Wage haben. Soll eine Wage geprüft werden, so findet man ihre Empfindlichkeit, indem man sie je nach ihrer Größe möglichst belastet, und dann das kleinste Gewicht sucht, mit welchem sie bei dieser Belastung noch einen Ausschlag gibt. Es ist unerläßlich, daß sie für sich im Gleichgewicht steht und daß die Hebelarme gleiche Länge haben. Um dieses zu finden, bringe man ein Gewicht auf die eine Wagschale, und stelle durch Belasten der andern Wagschale das Gleichgewicht her. Darauf werden die beiden Belastungen ausgetauscht, und es muß wieder Gleichgewicht stattfinden. Hätte etwa der eine Arm die Länge 10, der andere die Länge 11, so würde 1 ℔ Belastung der erstern Schale $^{10}/_{11}$ ℔ auf der andern das Gleichgewicht halten. Wechselt man nun beide Belastungen aus, so wirkt jetzt das Pfund am Hebelarme 11, die $^{10}/_{11}$ Pfunde sind am Hebelarme 10, und es kann wegen Ungleichheit der statischen Momente auch kein Gleichgewicht mehr stattfinden. Mathematisch genau gleich sind jedoch die Hebelarme bei gar keiner Wage,

denn diese Aufgabe geht über die Kunstfertigkeit des Mechanikers. Man kann aber selbst mit ungenauen Wagen einen Gegenstand wägen, wenn man ihn in die eine Wagschale bringt und dann die andere bis zum Gleichgewichte belastet. Hierauf wird der Gegenstand entfernt, und in die leere Wagschale bringt man so lange Gewichte, bis wieder Gleichgewicht hergestellt ist. Hiedurch erhält man die Masse des gewogenen Körpers so genau, als die Richtigkeit der angewandten Gewichte und die Empfindlichkeit der Wage es gestatten.

§. 41. Die römische oder Schnellwage stellt einen ungleicharmigen Hebel dar, an dessen kürzerem Arme der zu wägende Körper angebracht wird. An dem längeren Arme wird ein Gewicht, der Laufer, hin- und hergeschoben, bis der Wagbalken horizontal steht. Aendert sich die Entfernung des Laufers von dem Stützpunct, so ändert sich auch sein statisches Moment; bei dem schwereren Körper kommt er daher weiter von dem Stützpuncte zu stehen, als bei dem leichteren.

Läßt man an dem einen Arme eines Winkelhebels immer dasselbe Gewicht, während man am andern wechselt, so wird die Stellung, welche die Arme gegen die Verticallinie einnehmen, im Stande des Gleichgewichtes stets eine andere sein. Ist ocb (Fig. 30) ein solcher Winkelhebel, sind P und Q die beiden Lasten, so sind nach §. 39 (Fig. 26) Q . a_1c und P . b_1c die statischen Momente derselben, und im Stande des Gleichgewichtes müssen diese beiden Größen sich gleich sein. Fügt man zu P eine weitere Belastung P_1 hinzu, so ist das Gleichgewicht gestört, der Hebelarm cb wird sich senken, co wird sich heben, und in einer andern Lage des Hebels wird wieder Gleichgewicht sein, wenn $Q . cd_1 = (P + P_1) ce_1$. Legt man nun nach und nach die Gewichte 1, 2, 3... auf eine als Winkel-Hebel eingerichtete Wage und notirt sich die entsprechenden Stellungen, so kann man, wenn

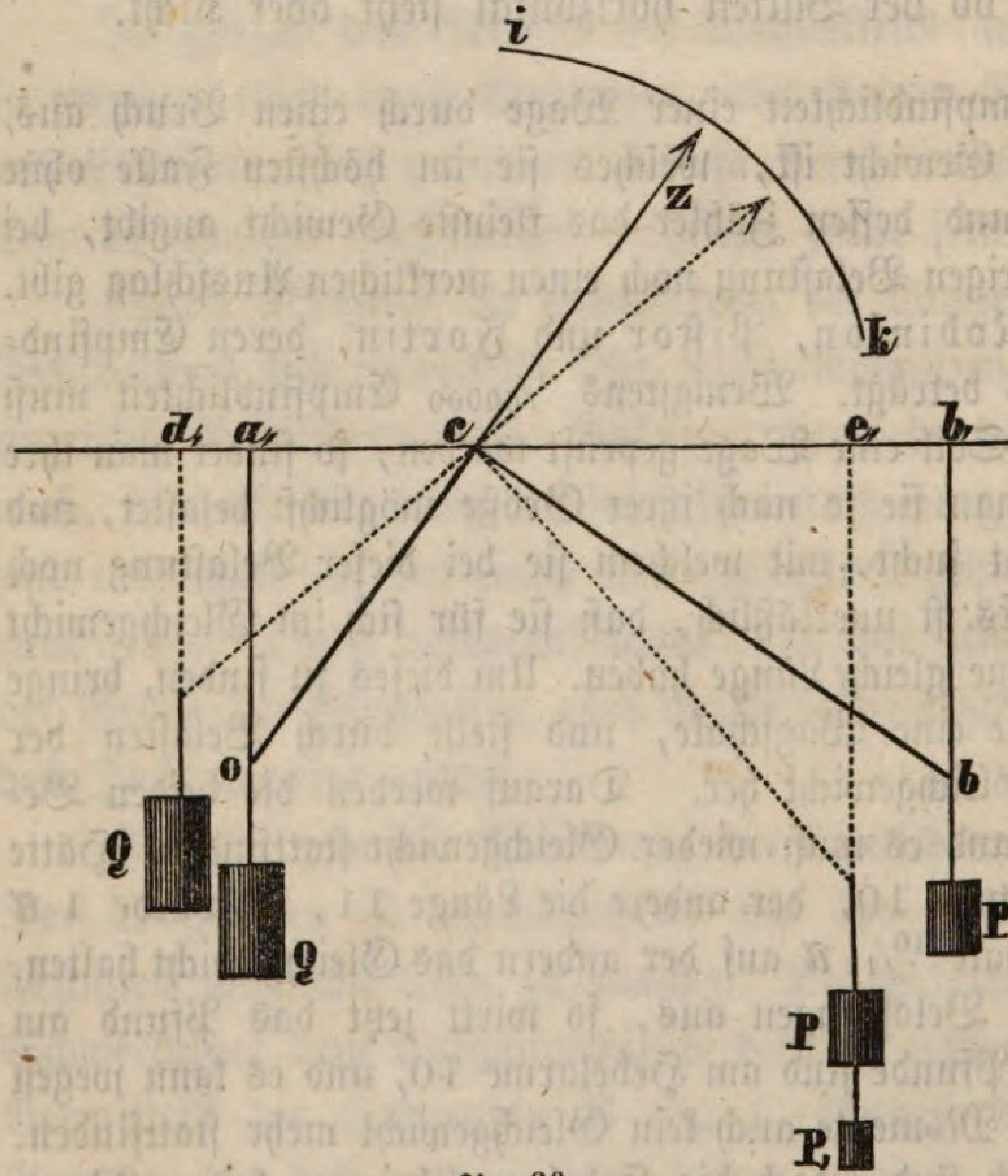


Fig. 30.

man später irgend einen andern Körper in die Wagschale legt, aus der Stellung der Arme auf das Gewicht des Körpers schließen. Die Stellung der Arme erkennt man aber an einer an dem Kreisbogen ik befestigten Scala, an welcher die entsprechenden Gewichte angeschrieben sind, und an welcher der mit dem Hebel fest verbundene Zeiger z hingeht.

Hierauf beruhen die Zeigerwagen, die man gegenwärtig als Briefwagen, dann auf Eisenbahnen, wo es mehr auf die Einfachheit des Verfahrens als auf große Genauigkeit ankommt, häufig benützt.

§. 42. Eine Rolle ist eine kreisförmige Scheibe, die sich um ihren Mittelpunct drehen läßt, und an deren Rande sich eine Rinne befindet, in welcher eine Schnur läuft. Ist (Fig. 31) der Mittelpunct einer solchen Rolle in c und hängen an ihrer Schnur die einander gleichen Gewichte PQ, so muß Gleichgewicht vorhanden sein, da auf beiden Seiten alles gleich ist, und darum kein Grund existirt, warum das eine oder das andere Gewicht hinziehen sollte. Man kann übrigens die Rolle auch als einen Hebel betrachten, dessen Stützpunct c ist, während die Kräfte PQ an den einander gleichen Hebelarmen ac und bc thätig sind. Die statischen Momente sind auf beiden Seiten gleich, also ist Gleichgewicht. Würde die eine Kraft nicht in b, sondern in d oder in e angreifen, so würde ihr Hebelarm cd oder ce dadurch nicht geändert, denn alle Radien eines Kreises sind gleich; die Kräfte wirken, wo sie auch angreifen mögen, unter einem rechten Winkel an ihrem Hebelarme, denn alle Tangenten stehen bei dem Kreise senkrecht auf dem Radius.

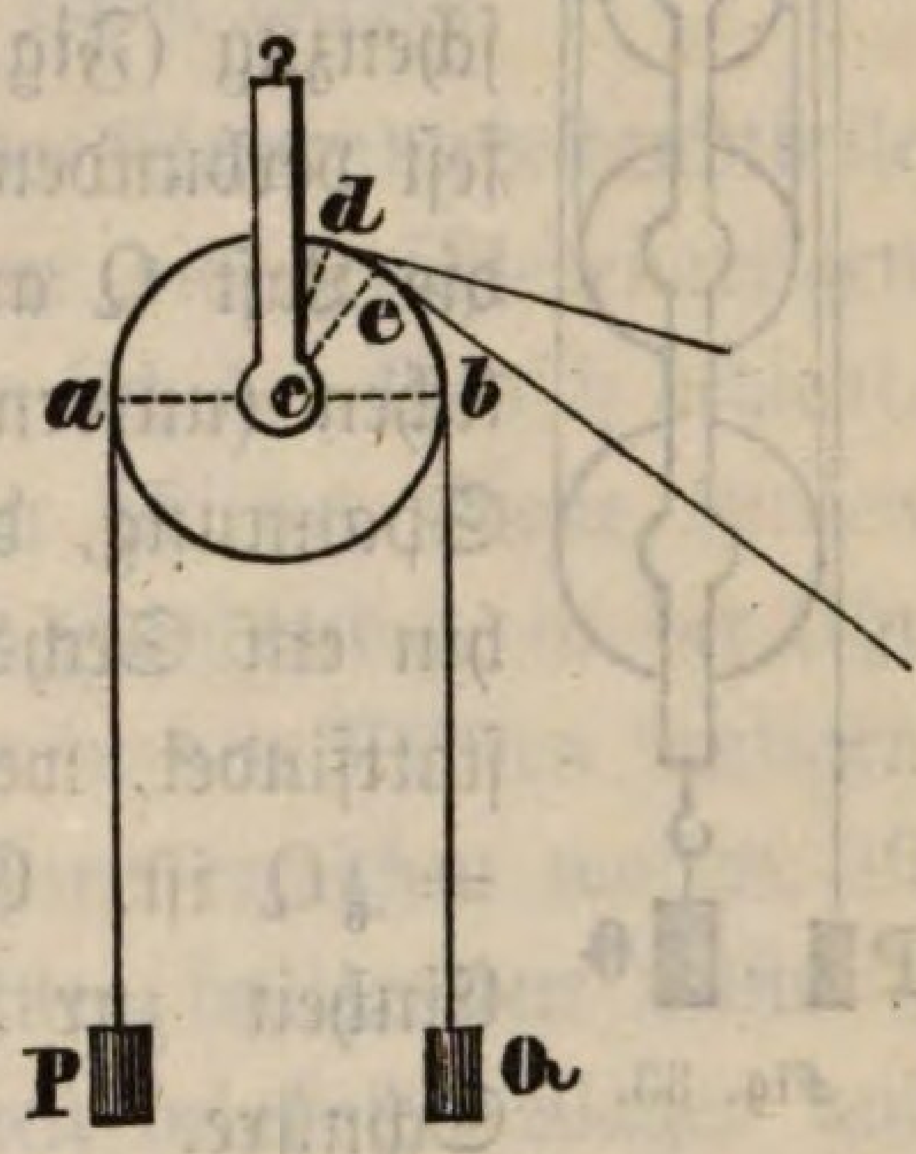


Fig. 31.

Anders als bei der festen Rolle, deren Axe stets an der nämlichen Stelle bleibt, ist das Ergebniß bei der beweglichen (Fig. 32).

Da die Länge des Seiles auf den Gleichgewichtszustand ohne Einfluß ist, können wir den festen Punct a nach a_1 verlegt denken. Die an dem Hebelarme a_1c wirkende Last Q sucht die Rolle abwärts zu führen, während die Kraft P, welche durch die feste Rolle A nur ihre Richtung geändert hat, an dem

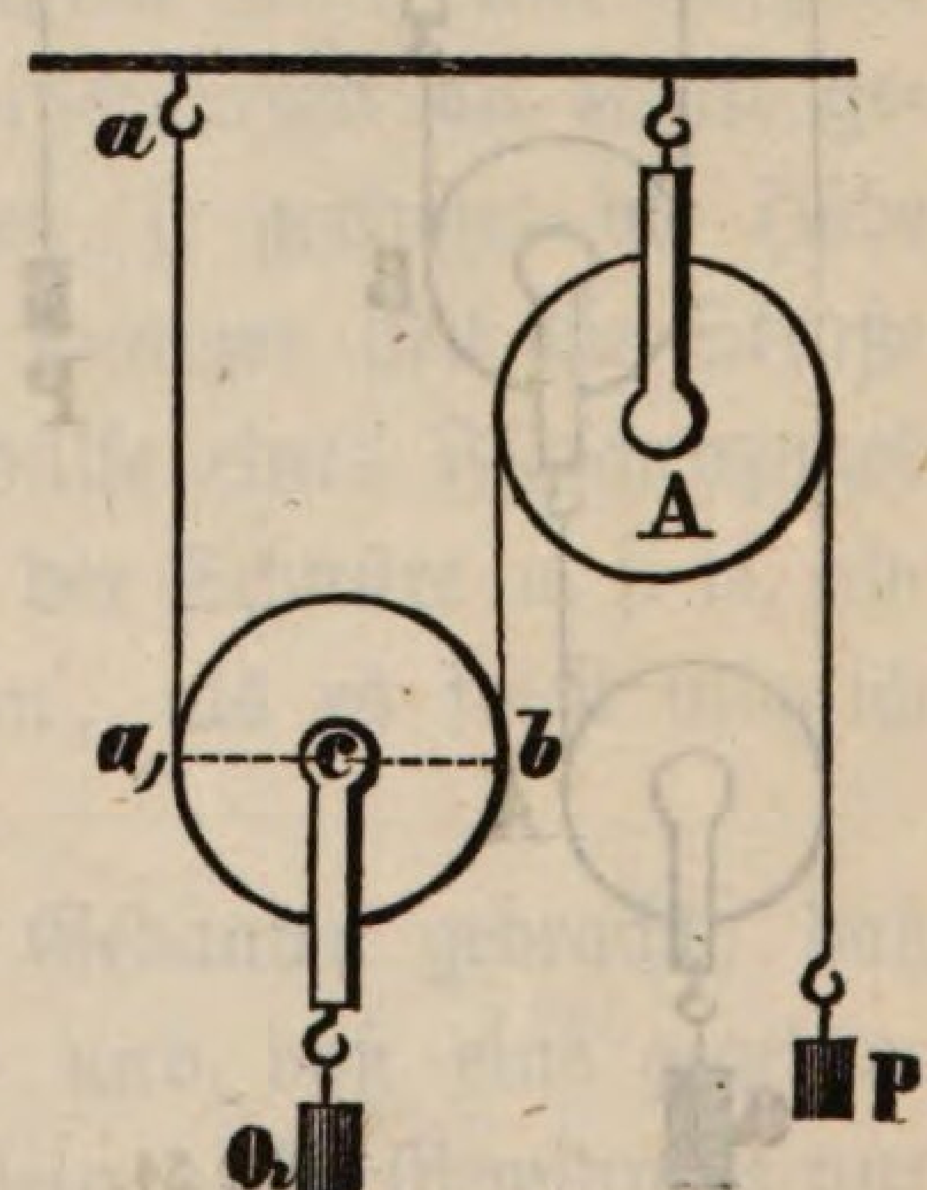


Fig. 32.

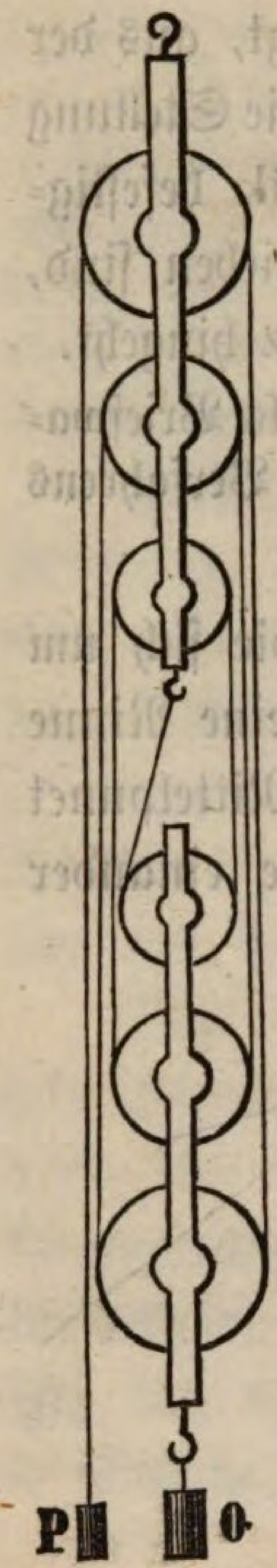


Fig. 33.

Hebelarme a_1b aufwärts zieht. Da nun die Länge von $a_1b = 2\,a_1c$ ist, so muß, wenn Gleichgewicht stattfinden soll, $Q = 2\,P$ sein, die Last ist also noch einmal so groß als die ihr das Gleichgewicht haltende Kraft P. Dieser Satz läßt sich auch auf folgende Weise klar machen. Die Last Q hängt an zwei Schnüren, und sie wird jeder eine Spannung geben, welche der Hälfte ihres Gewichtes entspricht. Auf der einen Seite wird der Spannung durch den festen Hacken Widerstand geleistet, auf der andern Seite ist die Spannung durch den von P hervorgebrachten Zug zu neutralisiren, weßhalb P halb so schwer sein muß als Q.

Der gleiche Schluß gilt auch für den sogenannten Flaschenzug (Fig. 33), in welchem mehrere Rollen mit einander fest verbunden sind. In dem vorliegenden Falle theilt sich die Last Q auf 6 Schnüre, denn von jeder der 3 beweglichen (untern) Rollen gehen 2 nach aufwärts, und die Spannung, die daher auf jede der Schnüre trifft, ist mithin ein Sechstheil der ganzen, weßhalb auch Gleichgewicht stattfindet, wenn das an einer einzigen Schnur hängende $P = \frac{1}{6}Q$ ist. Es verhält sich hier die Kraft zur Last wie die Einheit zur Zahl der von der Last aufwärts gehenden Schnüre.

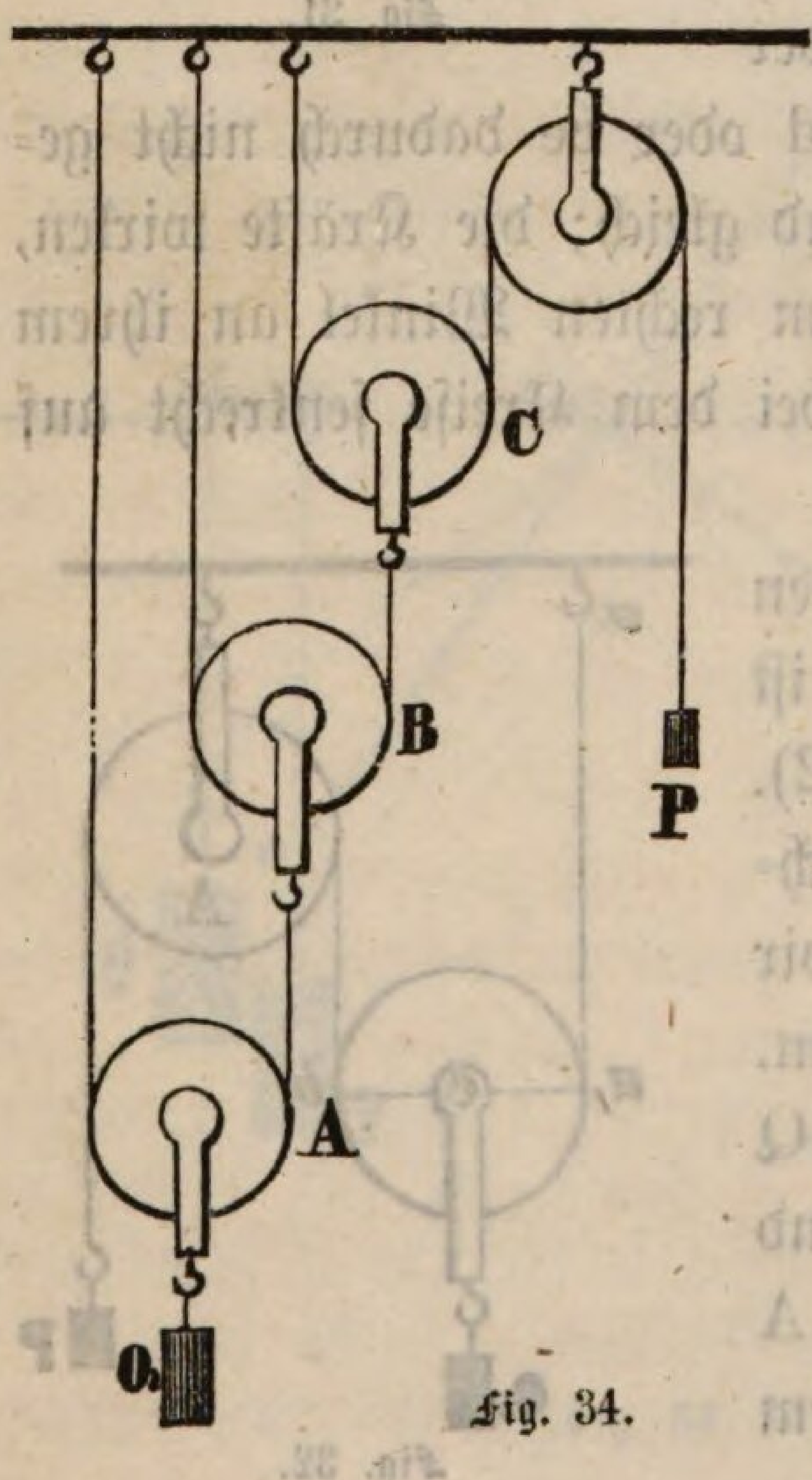


Fig. 34.

Bei dem weniger gebräuchlichen sogenannten Potenzflaschenzuge (Fig. 34) hat jede der von der Rolle A aufwärtsgehenden Schnüre die Spannung $\frac{1}{2}Q$. In diese Spannung $\frac{1}{2}Q$ theilen sich die 2 Schnüre, an denen B hängt, jede ist also durch das Gewicht $\frac{1}{4}Q$ gespannt, und diese Spannung wird bei C noch einmal getheilt. Es ist daher im Falle des Gleichgewichtes

$$P = \frac{1}{8}Q.$$

Es gibt noch mehrere Combinationen von festen und beweglichen Rollen, doch sollen dieselben als wohl nirgends in der Praxis gebraucht hier übergangen werden.

Man benützt die Rollen überall da, wo es sich darum handelt, Lasten in die Höhe zu

heben, weßhalb man sie bei Bauten u. s. w. allenthalben sehen kann. Der Vortheil der beweglichen Rollen beruht darauf, daß man mit der geringeren Kraft der größeren Last das Gleichgewicht halten kann. Die festen Rollen dienen soweit sie nicht in den Flaschenzügen mit den beweglichen combinirt werden vorzugsweise dadurch, daß sie gestatten die Richtungen der Kräfte in beliebiger Weise zu ändern. Gesetzt, es solle ein Pferd verwendet werden, eine Last in die Höhe zu heben, so würde es sich nur schwer dazu eignen, wenn man nicht im Stande wäre, seine Arbeit des Ziehens, also eine horizontal wirkende Kraft in eine vertical wirkende umzuwandeln. Es ist aber diese Aufgabe eine ganz einfache, wenn man die Rolle zu Hülfe nimmt. Auch in den im Vorstehenden angegebenen Apparaten ist von der durch Rollen bewerkstelligten Aenderung der Kraftrichtung wiederholt Gebrauch gemacht worden.

Die Räder der Uhren dienen als Rollen, bei welchen die Schnüre durch an der Peripherie angebrachte Zacken, die Zähne, ersetzt werden.

§. 43. Durch zweckmäßige Verbindung der Elementarbestandtheile (der schiefen Ebene und des Hebels) kommen die verschiedenartigen Werkzeuge und Apparate zum Vorschein, deren sich der Mensch bedient. So ist z. B. der Bohrer eine Verbindung der schiefen Ebene (unten an der Spitze) mit dem Hebel (oben an der Handhabe), in der Uhr sehen wir eine Combination der verschiedensten in den Rädern thätigen Hebel. Der Zweck, den wir mit den Maschinen erreichen wollen, ist der, eine vorhandene Kraft zu Erfüllung einer bestimmten Leistung tauglich zu machen. Soll z. B. ein Pferd einen belasteten Wagen auf eine Höhe bringen, so wird im Allgemeinen seine Kraft nicht im Stande sein, dieses zu thun. Läßt man es aber über eine schiefe Ebene hinaufgehen, so verhält sich (von der Reibung auf der Straße abgesehen) die Kraft des Pferdes zur Last des Wagens wie die Höhe der schiefen Ebene zu deren Länge, und sowie die Pferdewirkung nur um etwas Weniges stärker ist, so wird das Thier im Stande sein, seine Aufgabe zu lösen; es hat durch die schiefe Ebene gewissermaßen an Kraft gewonnen, und dieser Gewinn ist um so größer, je geringer die Höhe der schiefen Ebene bei gleicher Länge d. i. je weniger steil die Straße ist. Ebenso ist es möglich, daß man mit Hülfe eines Flaschenzuges von 2 beweglichen Rollen (von der Steifigkeit der Schnüre u. s. w. abgesehen) viermal so große Lasten heben kann, als es sonst möglich wäre.

Dieser Gewinn von Kraft hat auf den Gedanken gebracht, daß die Maschinen eine Quelle von Kraft seien, und daß eine gegebene Kraft durch sie multiplicirt werden könne. Allein dieser Gewinn ist nur

ein scheinbarer. Es muß hier zunächst darauf aufmerksam gemacht werden, daß zu der Bestimmung der Größe einer mechanischen Arbeit nothwendig ist, die Menge des von dem einen Orte an einen andern beförderten Materials und auch die Entfernung der beiden Orte von einander zu wissen. Offenbar ist es gleiche Leistung, wenn man ein gegebenes Gewicht in einer bestimmten Zeit 100 Fuß, oder wenn man das Doppelte in derselben Zeit nur 50 Fuß hoch hebt, denn nimmt man jede Arbeit zweimal, so bekommt man jedesmal das Resultat, daß das doppelte Gewicht 100 Fuß hoch gehoben wurde. Multiplicirt man die gehobene Last in den Weg, welchen diese Last in Folge der Arbeitsleistung zurückgelegt hat, so wird das erhaltene Product die Größe dieser Leistung beurtheilen lassen. Man vergleicht die Kräfte unter einander je nach der von ihnen veranlaßten Bewegungsgröße (§. 19).

Untersucht man nun die Leistungen der Maschinen, sie mögen heißen wie sie wollen, so kommt man jedesmal auf folgendes Resultat: Was man an Kraft gewinnt, geht an der Zeit verloren.

Wenn man (Fig. 11) mit Hülfe von P die Last Q über die schiefe Ebene hinaufbringt, so hat P die Arbeit geleistet, daß Q um die Höhe BC gehoben wurde. Hat man P . AB = Q . BC, so ist, wie bereits gezeigt wurde Gleichgewicht vorhanden, und gibt man dann dem Gewichte Q nur einen kleinen Stoß, so geht es dem Gesetze der Trägheit zufolge von A bis B. Allerdings widerstrebt die Einwirkung der Schwere dieser Bewegung, allein ihr Widerstand wird durch P aufgehoben. Nimmt man nun an, Q habe sich von A bis B bewegt, so steht es am Schlusse der Bewegung um die Höhe der schiefen Ebene höher als vorher; aber P steht jetzt um die ganze Länge AB tiefer als am Anfange. Die Höhendifferenz beider Körper vor und nach der Bewegung verhält sich umgekehrt wie ihr Gewicht; je kleiner also die Masse eines Körpers ist, um so größer muß dessen Geschwindigkeit sein.

An dem Hebel (Fig. 35) findet Gleichgewicht statt, wenn Q . ac = P . bc d. i. wenn die statischen Momente gleich sind, wenn sich also die Belastungen umgekehrt wie die Entfernungen ihrer Aufhängepuncte von c verhalten. Läßt man nun die Hebelstange sich aus der Gleichgewichtslage entfernen, so beschreibt a einen Kreisbogen aa_1 und b einen Kreisbogen bb_1, diese

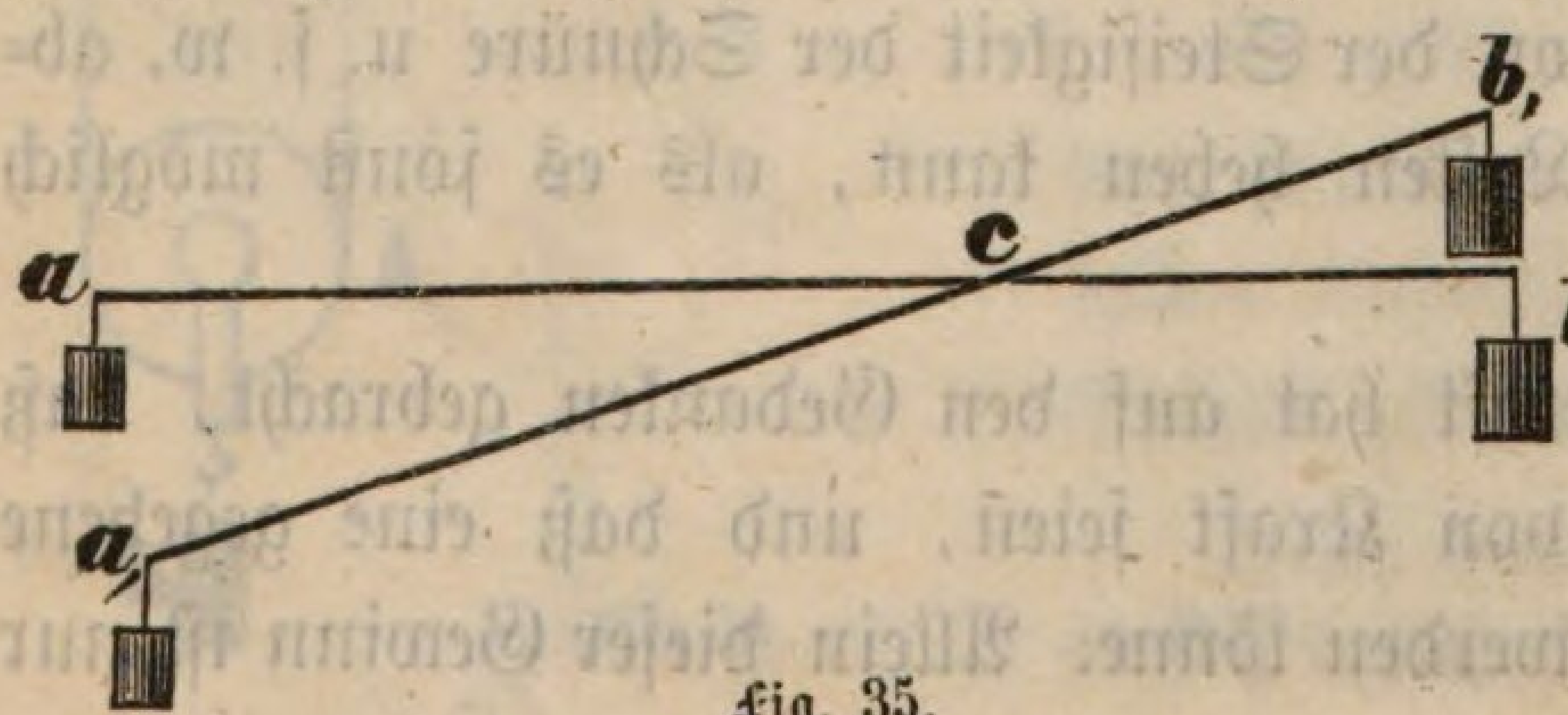


Fig. 35.

beiden Bogen verhalten sich aber zu einander wie ihre Radien, d. i. wie die Hebelarme ac und bc, und das Resultat ist dasselbe wie oben. Man kann allerdings durch Vermittlung eines Hebels mit einer kleineren Kraft einer größeren Last das Gleichgewicht halten und durch einen ganz kleinen Ueberschuß die Last in die Höhe bringen, aber der Weg, den die Last dann zurücklegt, ist um so kleiner, je mehr diese die Kraft übersteigt.

Die Anwendung dieses Satzes auf die Rollen ergibt sich ganz einfach aus der Betrachtung der Figuren, weßhalb eine weitere Durchführung überflüssig ist.

Das Resultat ist also folgendes. Man kann mit Hülfe irgend eines Apparates eine Last z. B. 4 Zentner unter Anwendung einer Kraft P von einem Zentner in die Höhe heben, wobei jedoch ein kleiner Stoß, das Antreiben der Maschine, vorausgesetzt werden muß. Ist die Last allenfalls 10 Fuß gehoben worden, so hat die Kraft die Arbeit 4×10 also 40 Fußzentner geleistet, dabei fällt aber P um 40 Fuß und wenn man die Leistung wiederholen will, so muß P wieder um die 40 Fuß gehoben werden, man hat aber hiezu die Arbeit $1 \times 40 = 40$ Fußzentner nöthig und man muß auf der einen Seite der Maschine soviel Arbeit aufwenden, als sie auf der andern gibt. Es ist also von dem Apparate kein Gewinn an Kraft zu erwarten, und der ganze Vortheil desselben beruht nur darauf, daß man je nach Umständen es vorzieht, zu Gunsten der Beförderung der größeren Last auf die Geschwindigkeit oder umgekehrt zu verzichten. So macht z. B. der Fuhrmann lieber einen Umweg, als daß er Vorspann nimmt, und dann den kürzeren aber steileren Weg hinauffährt.

Die Nichtberücksichtigung dieses Umstandes hat schon viele Leute dazu verführt, die Maschinen als Magazine von Kraft zu betrachten, und die nach vorstehender Betrachtung vollkommen trostlose Aufgabe, ein Perpetuum mobile, d. i. einen Apparat zu construiren, der fortwährend Arbeit leistet, ohne auf der andern Seite Zuschuß zu bekommen, hat schon viele Köpfe beschäftigt.

Hydrostatik.

§. 44. Wenn man einen festen Körper, z. B. einen Cylinder in der Richtung seiner Axe drückt, so sucht sich die oberste Schichte der nächstfolgenden zu nähern, diese drückt auf die folgende u. s. w., und

es pflanzt sich der auf die eine Seite ausgeübte Druck nach der andern fort, ändert aber dabei seine Richtung nicht, denn die seitlichen Wirkungen sind, so lange der Körper nicht zerquetscht wird, unwesentlich. Hat man dagegen eine in einem Gefäße eingeschlossene Flüssigkeit und übt auf sie einen Druck nach irgend einer Richtung aus, so pflanzt sich derselbe nicht nur nach dieser, sondern nach jeder Richtung fort, und die Flüssigkeit sucht nach allen Seiten zu entweichen. Dieser Umstand bildet die Hauptverschiedenheit der festen und flüssigen Körper, auf welche bei Untersuchung der Gleichgewichtsbedingungen zu achten ist.

Befindet sich (Fig. 36) in einem cylindrischen Gefäße eine Flüssigkeit, die wir zunächst als nicht schwer annehmen wollen, und drückt auf dieselbe ein wasserdicht schließender Deckel mit einem Gewichte P,

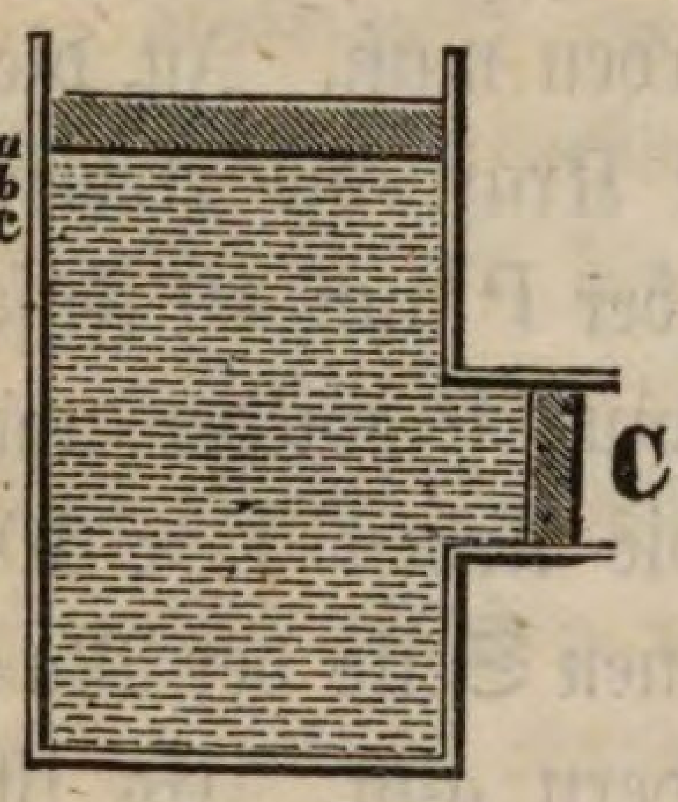


Fig. 36.

so pflanzt sich die auf die oberste Schichte ausgeübte Pression durch die Schichten a, b, c u. s. w. bis zum Boden fort, welcher mithin den Druck P erleidet. An diesem Drucke P nimmt nun die ganze den Boden berührende Fläche Theil, und es folgt daraus, daß die Hälfte des Bodens die Hälfte des Druckes erleidet, der vierte Theil $\frac{1}{4}$P u. s. w., kurz, daß die auf ein gegebenes Stück Boden ausgeübte Wirkung der Größe desselben proportional sei. Wäre ein nicht schwerer fester Körper statt der nicht schweren Flüssigkeit in dem Gefäße, so würde sich derselbe bis hieher ebenso verhalten, aber bei der Flüssigkeit pflanzt sich der Druck auch nach den Seiten fort, und auf einer bestimmten Fläche ist daher der Seitendruck eben so groß, als er wäre, wenn die Fläche ein Stück des Bodens ausmachen würde. Befindet sich in C ein Loch in dem Gefäße, so dringt die Flüssigkeit daraus hervor, und sie wird daran nur verhindert, wenn von außen ein Deckel mit einer Kraft hereingedrückt wird, welche eben so oft in P enthalten ist, als die Größe des Loches in der Größe der Oberfläche, auf welche der Deckel P unmittelbar wirkt. Ist der Druck nach allen Seiten thätig, so besteht auch ein Druck der Flüssigkeit gegen den pressenden Deckel, wie sich bei Anwesenheit eines Loches in demselben alsbald ergeben würde. Die Flüssigkeit würde durch dasselbe herausstürzen.

Nimmt man statt der hypothetischen nicht schweren Flüssigkeit eine schwere, die wir als mit einer horizontalen Oberfläche versehen annehmen wollen, so können wir auch diese in verschiedene Schichten getheilt

denken. Die oberste wird der Anziehung der Erde wegen auf die untere drücken, und dieser Druck sich auf die sämmtlichen tieferen fortpflanzen. Die zweitoberste drückt auf die unter ihr liegenden, und wenn die unter der ersten Schichte befindlichen übrigen um deren Gewicht willen den Druck 1 auszuhalten haben, so ist der Druck der unter der zweiten Schichte liegenden um 1 vergrößert, die vierte Schichte trägt 3 über sich, die fünfte 4 u. s. w. und da der Druck auf eine Schichte von der Zahl der über ihr befindlichen Lagen abhängt, wächst er bis zum Boden fortwährend. Ebenso stark wie der Bodendruck ist auch der jeweilige Seitendruck, und wirkt auf der Oberfläche außerdem noch der Druck P, (etwa wie oben der Deckel als wirkend angenommen wurde) so addirt sich auch diese Wirkung zu derjenigen der Schwere, welche eine jede Lage auszuhalten hat.

§. 45. Ist (Fig. 37) die Oberfläche der Flüssigkeit gekrümmt, so können wir sie bis zu a herab in horizontale Schichten getheilt denken; die zweite derselben hat wieder den verticalen Druck der obern, kann aber nach dieser Richtung nicht ausweichen, weil der Platz schon von den untern Lagen occupirt ist. Anders ist es mit dem Seitendrucke; in horizontaler Richtung ist ein Ausweichen möglich und nach dieser geht auch die Bewegung vor sich. Das Gleiche wiederholt sich bis a herab, und es kann Ruhe nicht eher eintreten, als wenn sämmtliche durch Seitendruck hervorgerufene Bewegung durch die Wandungen des Gefäßes aufgehoben wird. In diesem Falle ist die Oberfläche horizontal und da die Schwere in verticaler Richtung wirkt, *findet bei Flüssigkeiten Gleichgewicht statt, wenn die Oberfläche senkrecht auf der Richtung der Schwere steht.*

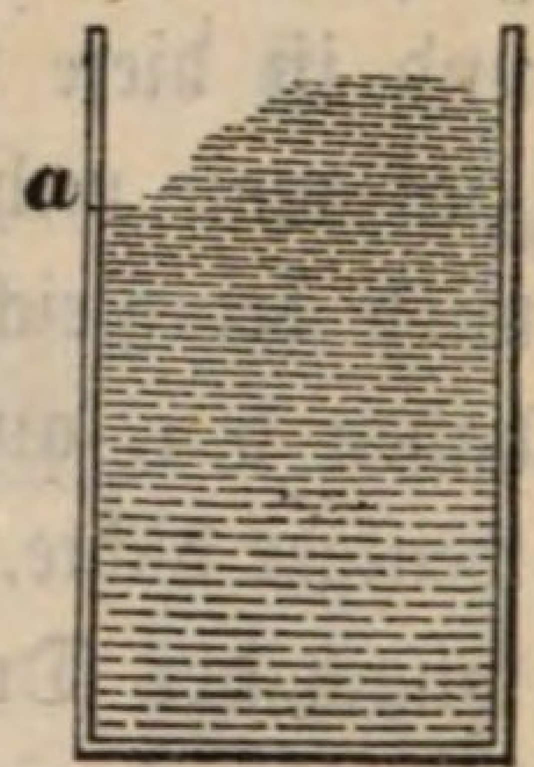


Fig. 37.

Findet die Anziehung einer größeren Menge von Flüssigkeit gegen einen Punct C (Fig. 38) statt, so wird die Gestalt der Flüssigkeit die einer Kugel und die einzelnen Radien derselben geben die jeweilige Richtung der Anziehung an. Dieses ist der Fall bei unserer Erde, deren Schwerpunct im Centrum ist, und darum sind sämmtliche größere Wassersammlungen auf derselben als Kugelstücke zu betrachten; wegen der Rotation der Erde findet jedoch, wie später gezeigt werden soll, noch eine Abänderung statt, und strenge genommen ist die Meeresfläche im Stande des Gleichgewichtes eine ellipsoidische. Bei kleineren Wasserflächen ist wegen der Größe der Erde die Krümmung nur sehr unbedeutend, weshalb man die Oberfläche derselben ohne merklichen Fehler als eben annehmen kann.

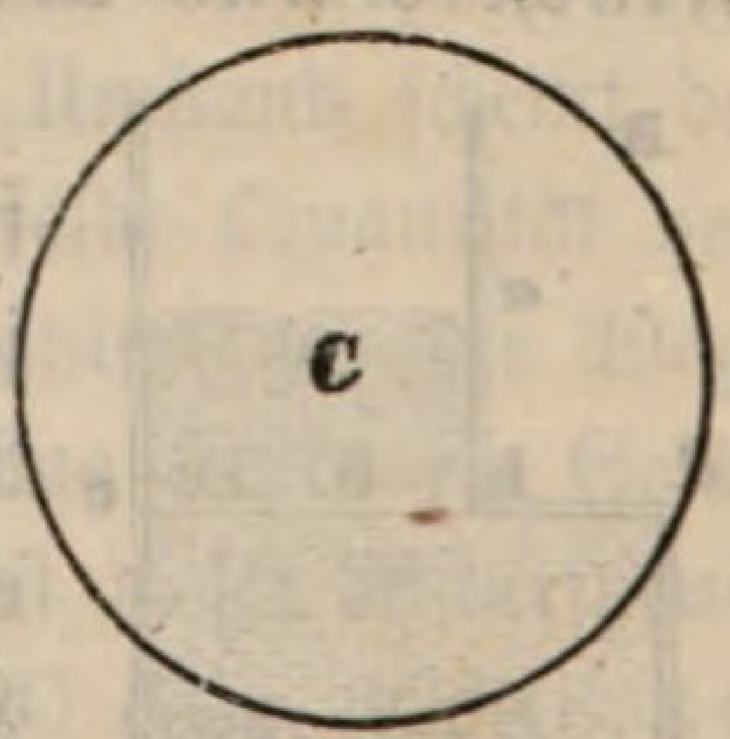


Fig. 38.

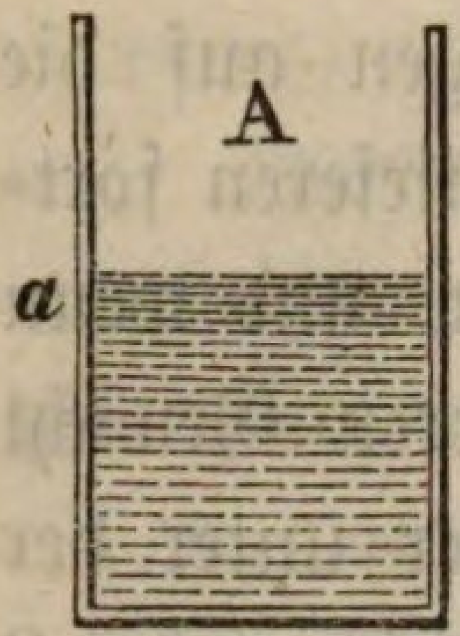


Fig. 39.

§. 46. Wenn das cylindrische Gefäß A (Fig. 39) bis zur Höhe a mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, so nimmt der Druck von oben nach unten zu, denn je weiter man abwärts kommt, um so mehr Schichten liegen oberhalb der betrachteten Stelle, und jede derselben drückt auf sämmtliche, die unter ihr liegen.

Der Druck wächst also mit der Höhe der Flüssigkeitssäule und ist in jeder Schichte anders, aber allemal in der ganzen Ausdehnung derselben Schichte gleich.

Man kann sich auch das Gefäß durch verticale Scheidewände in beliebig viele ganz kleine Cylinder oder Prismen, deren Basis einer willkürlich gewählten Flächeneinheit gleich sein mag, getheilt denken. Untersucht man nun den Druck, der auf eine beliebige Horizontalschichte, etwa auf die unterste ausgeübt wird, und ist der auf die Einheit der Fläche ausgeübte Druck gleich h, so wird sich dieser Druck auf einer größeren Fläche so oft wiederholen, als letztere Flächeneinheiten enthält, und ist diese Größe gleich o, so hat sie den Druck oh auszuhalten. Hat man mehrere Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit (§. 26), so wird bei gleichem Volumen die dichtere Flüssigkeit ein größeres Gewicht haben d. i. auf die Unterlage einen größeren Druck ausüben, als die weniger dichte, denn in ihr sind mehr Massentheilchen enthalten. Wenn sonach der Druck einer Schichte mit ihrer Dichtigkeit wächst, so muß dieses auch einen Einfluß auf die Wirkung haben, die eine größere Anzahl von Schichten auf ihre Unterlage ausübt, und wenn d die Dichtigkeit der Flüssigkeit bezeichnet, so ist hod der Ausdruck für den Gesammtdruck.

Der Druck, den eine Fläche auszuhalten hat, ergibt sich aus dem Producte aus der Höhe der über ihr befindlichen Flüssigkeitssäule h, der Ausdehnung der gedrückten Fläche o und der Dichtigkeit der Flüssigkeit d.

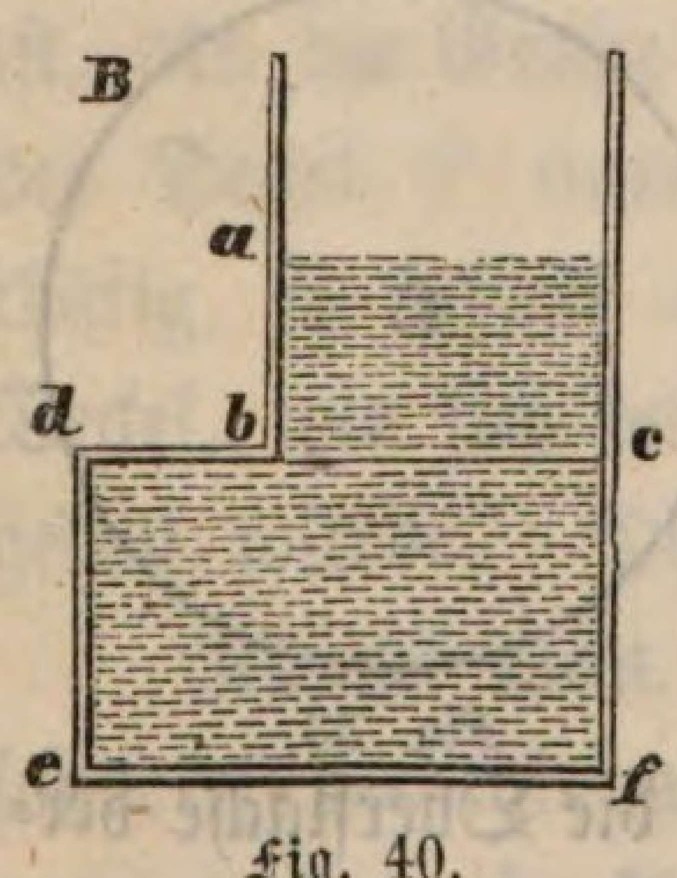


Fig. 40.

Hat ein Gefäß eine andere Form (Fig. 40), so findet von oben herab bis zu der Schichte bc, derjenigen wo die Erweiterung beginnt, die vorstehende Norm ihre Anwendung, und der auf die Flächeneinheit der Schichte ausgeübte Druck hängt von der Höhe ab der Flüssigkeitssäule ab. Die in dieser Schichte b befindlichen Theilchen üben in Folge dessen den entsprechenden Druck nach unten aus, drücken

aber auch eben so stark nach der Seite d hin und ein Theilchen in d wird daher dieselbe Wirkung auszuhalten haben, wie wenn über ihm eine Flüssigkeitssäule von der Höhe ab wäre, es pflanzt den Druck ebenfalls nach allen Seiten fort, dieser wird nach abwärts von Schichte zu Schichte größer und der Boden hat daher an der Stelle e dieselbe Last auszuhalten wie in f. Der Druck, der auf irgend eine Schichte und daher auch auf die unterste ausgeübt wird, läßt sich für die Flächeneinheit durch das Product aus Höhe der Flüssigkeitssäule und Dichtigkeit der Flüssigkeit ausdrücken und da er sich in jeder Flächeneinheit wiederholt, ist der Gesammtdruck, der auf eine Schichte ausgeübt wird, zu finden, wenn man den auf die Flächeneinheit ausgeübten Druck mit der Zahl der Flächeneinheiten multiplicirt. Behält man die oben angenommenen Zeichen bei, so ist der auf den Boden ausgeübte Druck gleich hod, also gerade so groß, wie wenn das Gefäß vollkommen prismatisch wäre, und die im obern Theile befindliche Verengerung ist ohne allen Einfluß.

Hätte das Gefäß die Form Fig. 41, so würde auch hier wieder der Druck in der Schichte bc der Höhe der Flüssigkeitssäule ab und der Größe der Schichte entsprechen und ob die Erweiterung oben vorhanden ist oder nicht, ist für den auf den Boden ausgeübten Druck ganz gleichgültig.

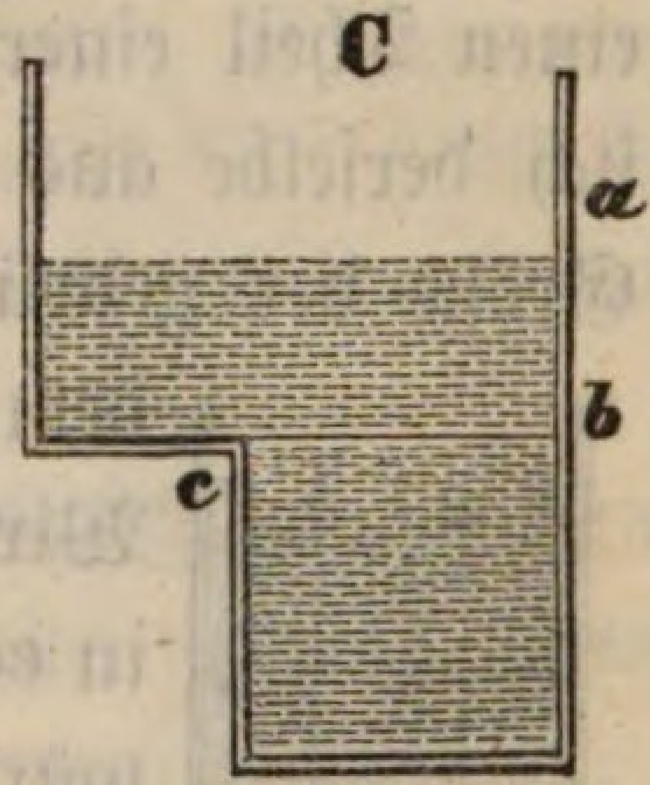


Fig. 41.

Der auf eine beliebige Horizontalschichte ausgeübte Druck ist daher von der Form der Seiten des Gefäßes vollkommen unabhängig, und der durch die nämliche Flüssigkeit in verschieden geformten Gefäßen bei gleicher Höhe der Flüssigkeitssäule und gleicher Bodenfläche auf diesen wirkende Druck ist gleich.

Aus diesem Grunde kann man mit der gleichen Quantität Flüssigkeit einen je nach der Gestalt des Gefäßes ganz verschiedenen Druck auf den Boden ausüben; es kann auch letzterer für die verschiedensten Mengen von Flüssigkeit der gleiche sein. Dieser Umstand scheint der Erfahrung zu widersprechen, denn eine und dieselbe Quantität von Flüssigkeit übt auf die Wage gebracht auf ihre Unterlage, die Wagschale, immer die nämliche Wirkung aus, man mag sie in ein Gefäß von was immer für einer Form bringen; doch ist dieser Widerspruch nur ein scheinbarer. In den Gefäßen A, B und C (Fig. 42, 43, 44) ist nach dem Vorstehenden der auf den Boden ausgeübte Druck gleich. Wenn man nun A auf die Wage stellt, so wirkt auf diese (außer dem

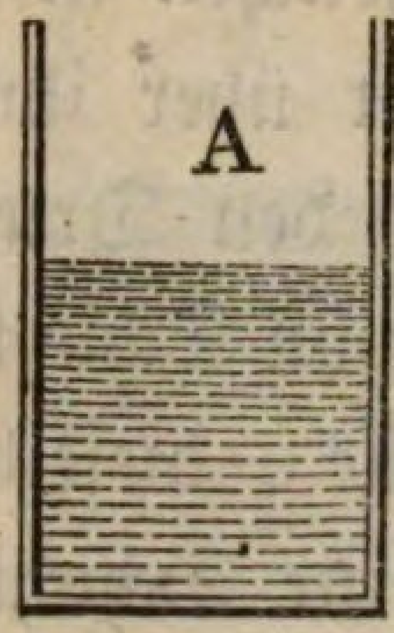


Fig. 42.



Fig. 43.

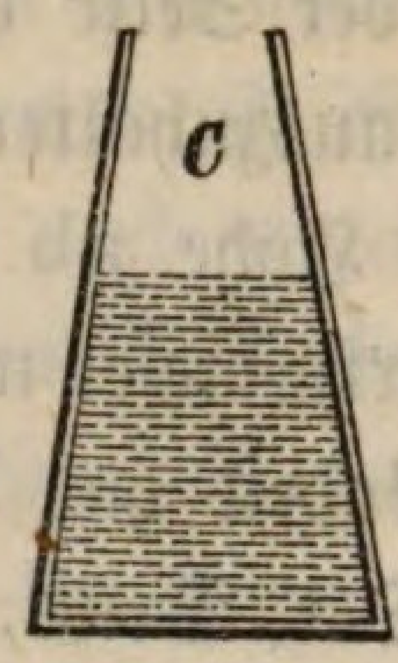


Fig. 44.

Gefäße selbst) nur der Bodendruck, denn der auf die verticalen Seiten ausgeübte Seitendruck ist horizontal gerichtet, übt also senkrecht keinen Einfluß aus. In dem Gefäße B ist ebenfalls der Bodendruck vorhanden, aber der auf die Wände ausgeübte Druck läßt sich in 2 Kräfte zerlegen, von denen die eine horizontal wirkend auf die Wage ohne Einfluß ist, während die andere verticale auf die Wage wirkt, und zu dem abwärts gerichteten Drucke addirt werden muß. In C zerlegt sich die auf die Wandungen ausgeübte Wirkung in eine horizontale und in eine aufwärts gehende, die von dem abwärts gerichteten Drucke abzuziehen ist, und es wiegt daher die Flüssigkeitsmasse in B mehr, die in C weniger als diejenige, die sich in A befindet.

Untersucht man den Flüssigkeitsdruck, der in einem Gefäße auf einen Theil einer Schichte, etwa cd (Fig. 45) ausgeübt wird, so läßt sich derselbe aus dem Vorstehenden sehr leicht berechnen, wenn man die Größe der gedrückten Fläche, den Höhenunterschied zwischen ihr und dem Niveau und die Dichtigkeit der Flüssigkeit kennt. Die Wirkung dieses Druckes ist eine solche, daß ihr zufolge die in cd befindlichen Flüssigkeitstheilchen nach abwärts geführt würden, und wenn diese trotzdem doch an ihrer Stelle bleiben, so muß man daraus schließen, daß von unten her eine andere Kraft wirke, die ihr diametral entgegengesetzt und der Stärke nach gleich ist. Diese Kraft ist der sogenannte Aufdruck.

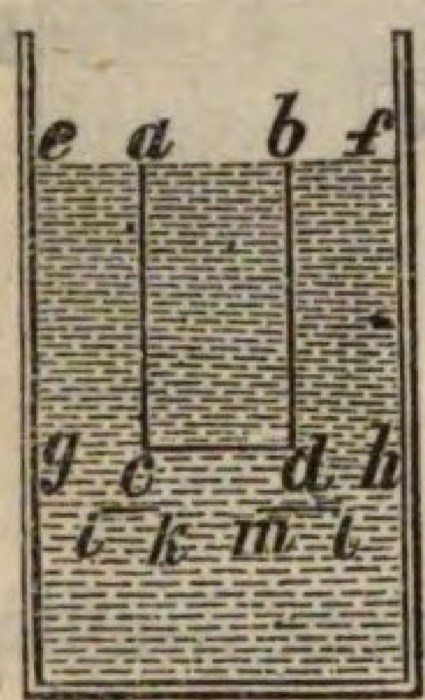


Fig. 45.

In den Theilen ae und bf des Gefäßes befinden sich ebenfalls Flüssigkeitstheilchen, die wieder nach unten drücken, dieser Druck pflanzt sich unterhalb cd nach allen Seiten und auch nach aufwärts fort und wäre abcd leer, so würde die Flüssigkeit bei cd in die Höhe dringen, was nur vermöge einer aufwärts wirkenden Kraft, eben des Aufdruckes, geschehen kann. Würde dieser Aufdruck ein anderes Gesetz befolgen als der Niederdruck, so wäre er in den verschiedenen Tiefen unter dem Niveau entweder kleiner oder größer als dieser, und es müßte wenn cd nach auf- und abwärts von verschieden starken Kräften getrieben würde, eine Bewegung desselben im Sinne der stärkeren Kraft eintreten. Betrachtet man eine einige Zeit sich selbst überlassene Flüssigkeit in ihren verschiedenen Schichten, so wird man eine

derartige Bewegung nicht wahrnehmen und es läßt sich daraus schließen, daß **der Aufdruck dasselbe Gesetz befolgt wie der Niederdruck.**

Der in cd wirksame Aufdruck rührt davon her, daß in den Strecken gc und dh ein Niederdruck stattfindet, der sich unterhalb cd als Seitendruck zeigt, so daß auf den Linien ik und lm die einzelnen Theilchen gegen einander geführt werden. Weil sich aber der Druck in Flüssigkeiten nach allen Richtungen fortpflanzt, so thut er dieses auch seitlich von den Geraden ik und lm und so kommt es denn endlich, daß der Aufdruck auf cd eigentlich nur der Seitendruck des Seitendruckes ik und lm ist. Befolgt der Aufdruck, also der Seitendruck des Seitendruckes dasselbe Gesetz wie der Niederdruck, so ist für den Seitendruck selbst gar keine andere Annahme möglich als die, daß auch er dem nämlichen Gesetze gehorche.

Die Abhängigkeit des Druckes von der Größe der gedrückten Fläche, der Höhe der Flüssigkeitssäule und der Dichtigkeit der Flüssigkeit läßt sich am leichtesten für den Aufdruck nachweisen; da man aber weiß, daß dieser dem Niederdruck und dem Seitendruck stets gleich ist, kann diese einzige Art experimentellen Nachweises auch für die beiden letzteren gelten.

Ein Cylinder A (Fig. 46) ist unten gut abgeschliffen, so daß er durch eine runde Glasplatte B wasserdicht geschlossen werden kann. Das Gewicht P ist so groß, daß es der Glasplatte, wenn sie im Wasser hängt, das Gleichgewicht hält. Steckt man nun den leeren Cylinder bei angedrückter Platte in das Wasser, so drückt letzteres die Platte nach aufwärts, preßt sie also noch mehr an den Cylinder an, und man kann, da dieser leer ist, den fehlenden Niederdruck durch in's Innere gelegte Gewichte ersetzen. Zieht man nun den zuerst tief eingetauchten Cylinder nach und nach aus dem Wasser heraus, so wird der Aufdruck immer geringer, während der durch die Gewichte hervorgebrachte Niederdruck constant bleibt, und sowie letzterer größer ist als der Aufdruck, so fällt die Platte ab. Bringt man nach und nach verschiedene Gewichte in's Innere des Cylinders, so zeigt sich, daß die Tiefe, bis zu der letzterer eingetaucht sein muß, wenn die Platte nicht abfallen soll, der Größe des Gewichtes proportional ist. Hat man mehrere Cylinder von verschiedenem Quer=



Fig. 46.

schnitte, so findet man in gleicher Weise auch die Abhängigkeit des Druckes von diesem, und die Anwendung verschieden dichter Flüssigkeiten etwa Wasser und Weingeist endlich zeigt, daß der Druck der Dichtigkeit der Flüssigkeit proportional sei.

Ist die Platte B genau in ihrem Schwerpuncte aufgehängt, und bildet die Schnur an der sie befestigt ist, genau die Axe des Cylinders A, so kann man mit dem Apparate auch den Niederdruck messen, indem man in den Cylinder bis zu verschiedenen Höhen Wasser gießt und dann das Gewicht sucht, welches bei P angehängt werden muß, um die Platte B so fest an den Cylinder anzudrücken, daß ein Auslaufen der Flüssigkeit verhindert wird.

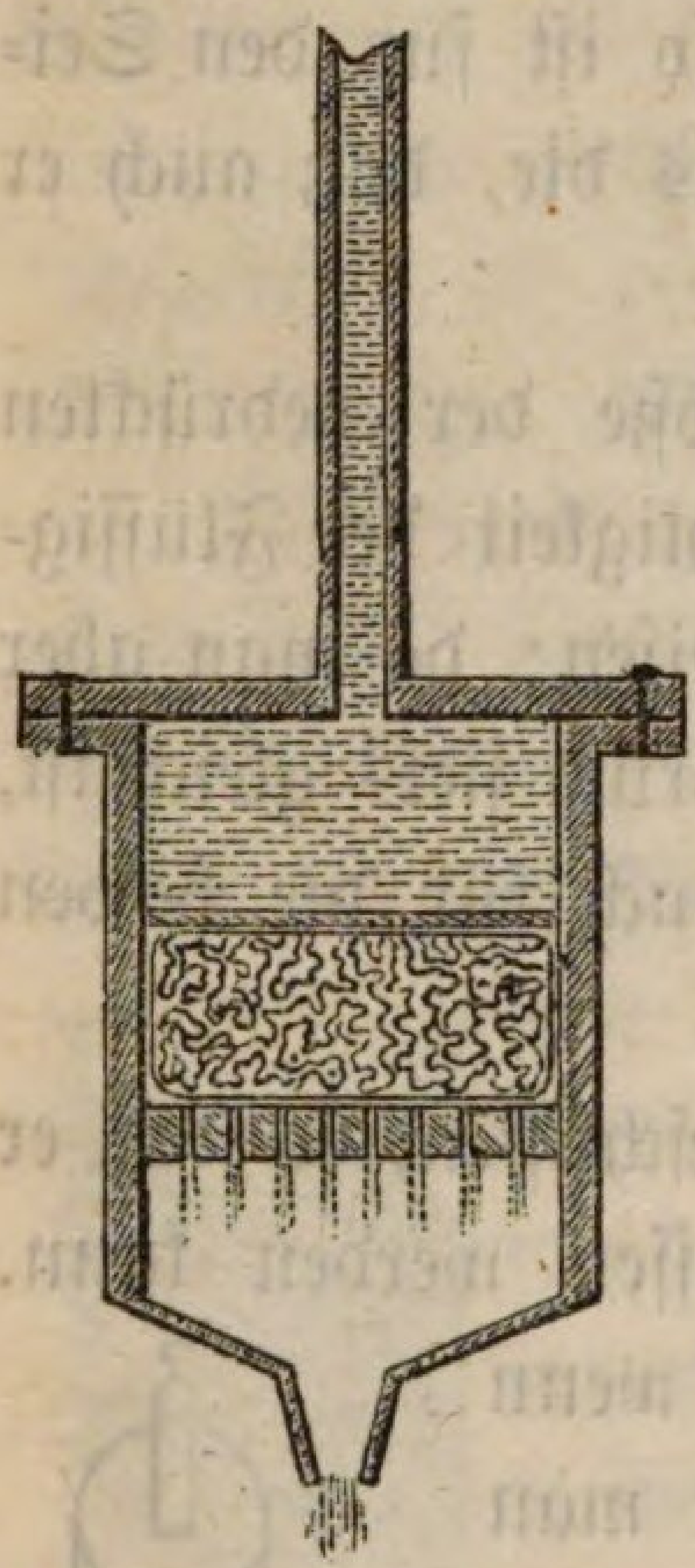


Fig. 47.

Zu den Anwendungen der im Vorstehenden entwickelten Principien gehört die Auflösungspresse von Real, die in Apotheken u. s. w. vielfach angewandt wird, wenn es sich darum handelt, die auflöslichen Stoffe aus verschiedenen Gegenständen, wie Wurzeln u. dgl. herauszubringen. Diese besteht (Fig. 47) aus einem festen Cylinder, in welchem sich zwischen 2 Platten, von denen die untere siebförmig durchbrochen ist, während die obere nicht ganz an die Wände anschließt, die leicht in Leinwand eingeschlagene zu extrahirende Substanz gebracht wird. Füllt man nun den Cylinder und das lange in der Abbildung nur zum Theile gezeichnete Rohr mit Wasser oder Weingeist, so üben diese Flüssigkeiten einen sehr bedeutenden der Höhe ihrer Säule entsprechenden Druck aus, und weil dabei des engen Rohres wegen wenig Flüssigkeit gebraucht wird, erhält man einen viel kräftigeren Auszug, als dieses sonst der Fall wäre.

Um das allzurasche Verderben der Eisenbahnschwellen zu verhüten, werden dieselben mit verschiedenen Salzen imprägnirt, was dadurch bewerkstelligt wird, daß man auf die Schwelle eine sehr hohe Röhre aufsetzt und diese mit der Imprägnirflüssigkeit füllt. Die Höhe der Flüssigkeitssäule in der Röhre bedingt einen sehr bedeutenden Druck derselben auf die untersten unmittelbar über der Schwelle befindlichen Schichten und die Folge davon ist, daß diese in die Zellen des Schwellenholzes gepreßt werden.

Die hydraulische Presse von Brahma möge durch nebenstehende Zeichnung (Fig. 48) versinnlicht werden. Die 2 Metallcylinder A und B befinden sich in den 2 weiteren Cylindern C und D, welche mit Wasser gefüllt und unter einander durch den Kanal e verbunden sind. Da A und B in das Wasser eintauchen, so übt dieses auf beide seinen Aufdruck aus, aber dieser ist für B um so geringer, als dessen Querschnitt hinter dem von A zurücksteht. Drückt man nun B vermittelst eines Hebels tiefer in den Cylinder D hinab, so hat man nur den geringen Aufdruck zu überwinden, der gegen B

wirkt, das Wasser geht aber weil der Raum zu enge wird nach C hinüber und verstärkt den Aufdruck gegen A. Ist nun z. B. der Querschnitt von A hundertmal größer als der von B, so wird für jede Krafteinheit, die an B thätig ist, die Kraft 100 an A entwickelt, und befindet sich irgend ein Gegenstand zwischen f und der festen Platte g, so wird dieser mit großer Gewalt zusammengepreßt. Ist der Querschnitt von A das Hundertfache von B, so steht auch das Volumen beider in demselben Verhältnisse, es geht also A nur um $\frac{1}{100}$ Fuß in die Höhe, wenn B einen ganzen Fuß abwärts gedrückt wird. Soll A wiederholt in die Höhe gehen, so muß B wiederholt drücken, weil aber so

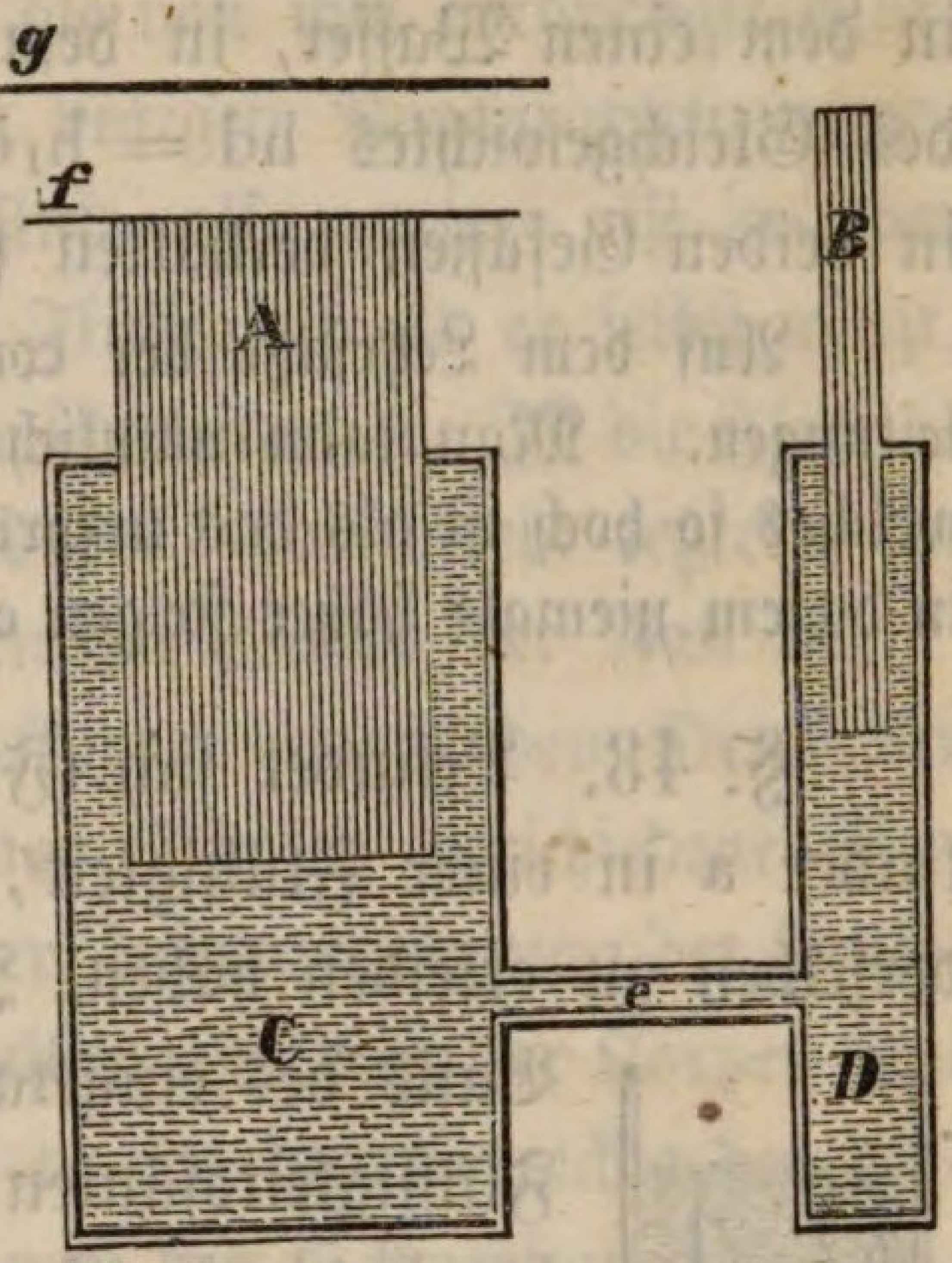


Fig. 48.

wie die Zeichnung ist, bei dem dadurch nöthigen Aufwärtsgehen von B das Wasser wieder durch e zurückweichen würde, wie es gekommen ist, muß man dieses Rückwärtsgehen verhindern. Es geschieht dieses durch Ventile, von denen jedoch erst später die Rede sein kann.

§. 47. Befindet sich in 2 mit einander zusammenhängenden Gefäßen von ganz beliebiger Gestalt eine Flüssigkeit, so steht diese in beiden gleich hoch, wie sich leicht aus Folgendem ergibt. Denkt man sich an irgend einer beliebigen Stelle O (Fig. 49) eine Fläche durch die Verbindungsröhre gelegt, so wirkt von der Seite A aus der Seitendruck der daselbst befindlichen Flüssigkeit, und dieser wird durch das Product aus Höhe und Dichte der Flüssigkeit und aus der Größe der Fläche O bestimmt. Dasselbe läßt sich auch von dem Drucke sagen, der von B

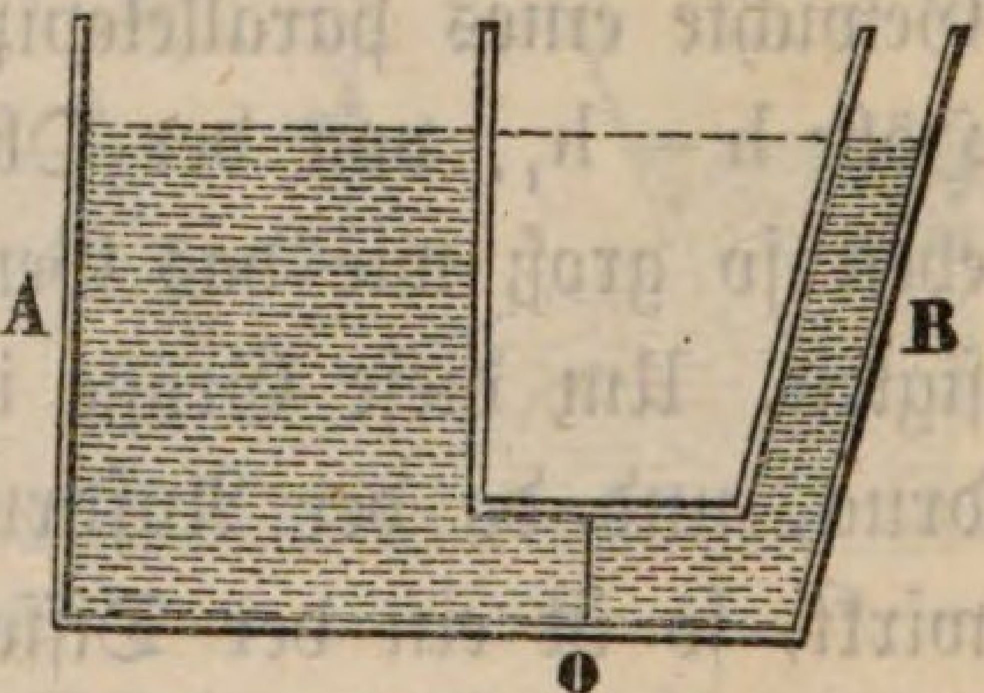


Fig. 49.

ausgeht. Soll Gleichgewicht sein, so müssen sich beide Wirkungen gleich sein, denn wenn das nicht wäre, so würden die an der Stelle O befindlichen Flüssigkeitstheilchen sich im Sinne der größeren Wirkung fortbewegen. Bezeichnet man mit h und h_1 die Höhe, mit d und d_1 die Dichtigkeit der Flüssigkeit in den beiden Gefäßen, mit o und o_1 die jeweilig gedrückte Fläche, so muß sein $hdo = h_1 d_1 o_1$.

Es ist aber $o = o_1$, denn wir bezeichnen mit beiden Größen eine und dieselbe Stelle. Ist die in beiden Gefäßen enthaltene Flüssigkeit die nämliche, so wird auch $d = d_1$ und darum muß auch $h = h_1$ sein. Wäre die Dichtigkeit des Inhaltes beider Gefäße verschieden, wäre z. B.

in dem einen Wasser, in dem andern Quecksilber, so wäre im Zustande des Gleichgewichtes $hd = h_1d_1$ und $h : h_1 = d_1 : d$ d. h. die Höhen in beiden Gefäßen verhalten sich umgekehrt wie die Dichtigkeiten.

Auf dem Lehrsatze der communicirenden Röhren beruhen die Wasserleitungen. Man kann nämlich das Wasser in ein anderes Becken leiten, welches so hoch ist als das ursprüngliche Reservoir, es wird aber das Niveau in diesem niemals höher steigen als der Spiegel des letzteren ist.

§. 48. Befindet sich (Fig. 50) ein Parallelepiped oder ein Cylinder a in einer Flüssigkeit, so wird er an allen Seiten den Druck derselben zu erleiden haben. Ist d die Dichtigkeit der Flüssigkeit, o die

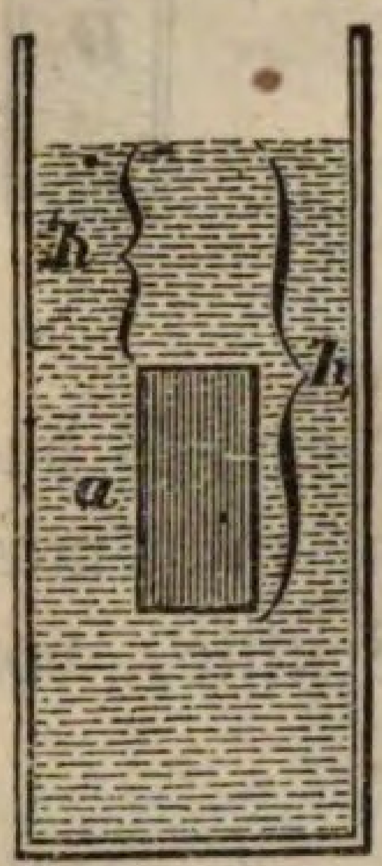


Fig. 50.

Basis des eingetauchten Körpers, sind h und h_1 die beiden Flüssigkeitssäulen, so erhält man als Druck von oben herab die Größe ohd und als Druck von unten herauf das Product oh_1d. Diejenigen Wirkungen, welche als Seitendruck thätig sind, werden den Körper zusammenzupressen suchen, wenn aber dessen Volumen, wie wir voraussetzen wollen, unveränderlich ist, so heben sie sich gegenseitig auf, denn sie sind sich immer paarweise gleich und entgegengesetzt. Nicht so ist es mit den in verticaler Richtung vor sich gehenden Wirkungen; der Aufdruck ist größer als der Niederdruck und die Differenz ist gleich $(h_1 - h)od$. Dieser Unterschied ist gleich dem Gewichte eines parallelepipedischen oder cylindrischen Körpers von der Höhe $h - h_1$, von der Oberfläche o und von der Dichtigkeit d, ist also eben so groß wie das Gewicht der von dem Körper verdrängten Flüssigkeit. Um diese Größe ist der Aufdruck bedeutender als der Niederdruck, und da der Aufdruck der Richtung der Schwere entgegengesetzt wirkt, so ist ein der Differenz von Aufdruck und Niederdruck gleicher Verlust des eingetauchten Körpers an Gewicht, das ja die Wirkung der Schwere repräsentirt, die unmittelbare Folge. Da jeder Körper als aus einer ganzen Menge kleiner Parallelepipede oder Cylinder zusammengesetzt gedacht werden kann, und, was für das eine gilt, sich auch auf das andere oder eine ganze Menge anderer ausdehnen läßt, so ergibt sich der allgemeine Satz: **Jeder Körper verliert, wenn er in eine Flüssigkeit getaucht wird, so viel an seinem Gewichte, als die Flüssigkeit wiegt, deren Raum er einnimmt.** Man nennt dieses Gesetz nach seinem Entdecker das **Princip des Archimedes.**

§. 49. Ist ein Körper schwerer als die von ihm verdrängte Flüssigkeit, so bleibt ihm auch nach dem im vorigen Paragraphen angegebenen Verluste noch etwas übrig, er sinkt also unter; ist er aber weniger dicht, so verdrängt er nur so viel Flüssigkeit als er selbst wiegt, und weil er daher nicht ganz eintaucht, so schwimmt er. Ist die Flüssigkeit eben so dicht als der eingetauchte Körper, so schwebt letzterer in der Flüssigkeit, wie dieses bei den Fischen im Wasser der Fall ist.

Bei dem Schwimmen erfährt der Körper durch den Druck der umgebenden Flüssigkeit an seinen einzelnen Theilen verschiedene Einwirkungen, die sich nach der Lehre von der Zusammenlegung der Kräfte verbinden lassen, und das Resultat derselben ist, daß der Körper von einer Kraft in die Höhe getrieben wird, welche dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit gleich ist und stets durch den Schwerpunct der letzteren geht. Liegt nun der Schwerpunct des schwimmenden Gegenstandes tiefer als der der verdrängten Flüssigkeit, so kann man den Gegenstand als an dem letzteren aufgehängt betrachten, und er wird in Ruhe sein, wenn sein Schwerpunct senkrecht unter dem Aufhängepunct ist. Es ist übrigens auch möglich, daß ein Körper sich im Gleichgewichte befindet, selbst wenn sein Schwerpunct höher steht als der der Flüssigkeit. Es sei A (Fig. 51) die ursprüngliche Stellung eines schwimmenden Körpers, c sein Schwerpunct, g derjenige der verdrängten Flüssigkeit. Erhält nun der Körper

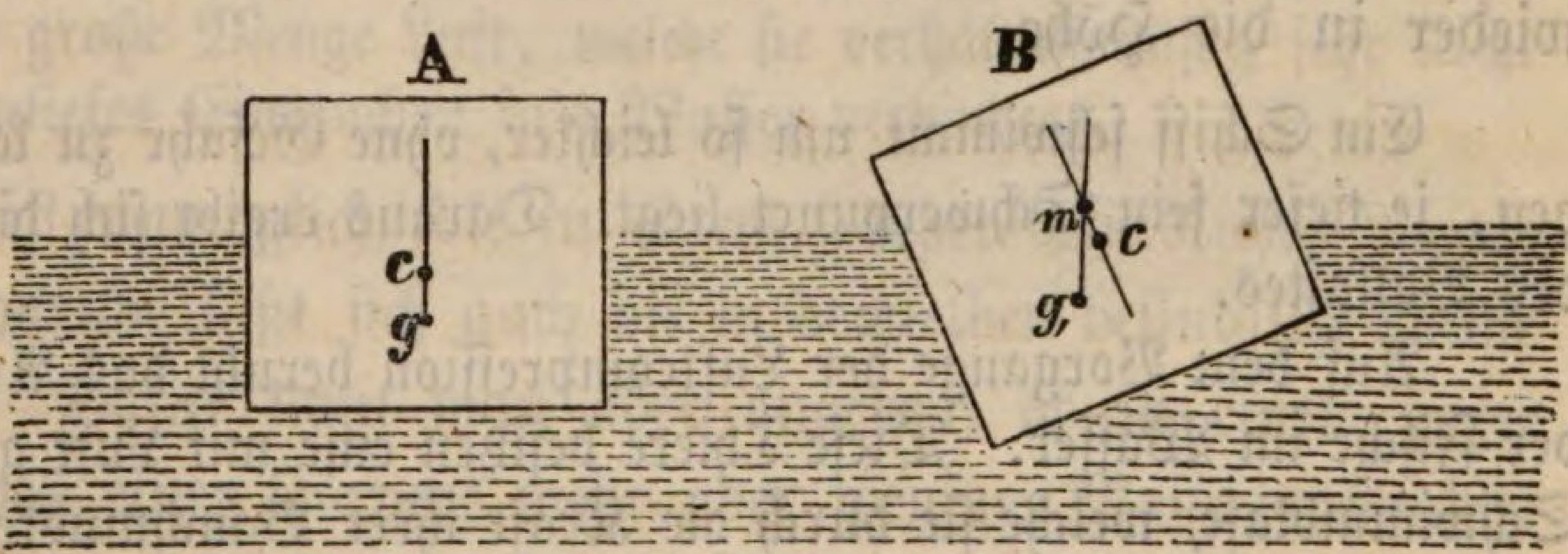
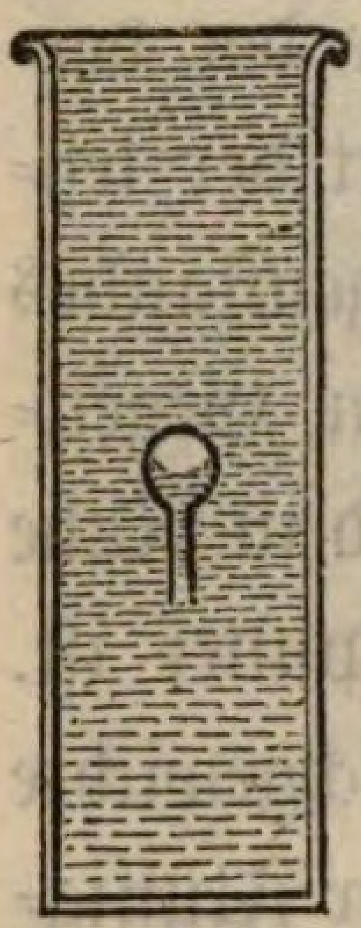


Fig. 51.

durch Schaukeln die Stellung B, so ist sein Schwerpunct wieder in c, also an der alten Stelle, aber der Schwerpunct der verdrängten Flüssigkeit ist jetzt in g_1. Beide Puncte sind nicht mehr senkrecht über einander, c ist also nicht mehr unterstützt, sinkt tiefer und dabei kommt die Stellung A wieder zum Vorschein. Der schwimmende Körper ist also in A im stabilen Gleichgewicht, denn aus demselben gebracht kehrt er von selbst dahin zurück, trotzdem daß sein Schwerpunct höher liegt als der Aufhängepunct g, und dieses wird so lange stattfinden, als er nicht über einen Punct m hinaussteigt, der sich da befindet, wo die von dem Flüssigkeitsschwerpuncte in den verschiedenen Stellungen des schwimmenden Körpers gezogenen Senkrechten sich schneiden. Fällt

der Schwerpunct des Körpers mit m zusammen, so bleibt derselbe in jeder Lage stehen, wir haben also indifferentes Gleichgewicht. Ist c höher als m, so bleibt der Körper nur dann in Ruhe, wenn c genau senkrecht über g ist, und schlägt um, wenn dieses nicht der Fall ist — labiles Gleichgewicht. Man nennt den Punct m das Metacentrum.

Wenn ein Körper unter Beibehaltung seines Gewichtes sein Volumen ändert, so ist es ihm möglich, in einer Flüssigkeit abwechselnd zu sinken und zu steigen. Befindet sich eine mit Luft gefüllte und in ein offenes Röhrchen endende Glaskugel (Fig. 52) in einem Cylinder voll Wasser, der mit einer Blase luftdicht verschlossen ist, so pflanzt sich, wenn man oben auf die Blase drückt, der Druck bis an das Ende des Röhrchens fort. Durch diesen Druck wird die Luft in der Kugel zusammengepreßt und es dringt Wasser zu ihr hinein; ist aber außer der Luft noch Wasser in der Kugel, so ist dieselbe mit ihrem Inhalte schwerer als vorher, es kann so weit kommen, daß sie schwerer wird als ein gleiches Volumen Wasser und dann sinkt sie zu Boden. Hört man auf, auf die Blase zu drücken, so dehnt die Luft in der Kugel sich wieder aus, letztere wird dadurch leichter und steigt daher wieder in die Höhe.


Fig. 52.

Ein Schiff schwimmt um so leichter, ohne Gefahr zu laufen, umzuschlagen, je tiefer sein Schwerpunct liegt. Daraus ergibt sich die Nothwendigkeit des Ballastes.

Auf dem Vorgange der Luftcompression beruht das Auf- und Absteigen der Fische im Wasser. Diese Thiere besitzen eine mit Luft gefüllte Blase, die Schwimmblase, welche sie durch die Kraft ihrer Bauchmuskeln zu comprimiren im Stande sind. Geschieht dieses, so sinken sie; hören sie mit der Pression auf, so steigen sie. Bei Fischen, welche in großen Tiefen leben, ist auch der Druck, den die über ihnen stehende Wassersäule ausübt, von großer Bedeutung, er addirt sich zu der Muskelwirkung, und um beiden Widerstand leisten zu können muß die Luft in der Schwimmblase sehr dicht sein. Bringt man einen solchen Fisch an die Oberfläche, so hört der Wasserdruck auf und die Muskeln vermögen es nicht, allein die auf's Aeußerste comprimirte Luft zusammenzuhalten. Es dehnt sich daher die Schwimmblase so aus, daß sie nicht selten die vor ihr liegenden Eingeweide zum Maule herausdrängt.

Bei dem Menschen findet, wenn er schwimmt, ein ähnliches Verhältniß statt, denn auch er hat eine Art von Schwimmblase, die mit Luft reich versehene Brusthöhle. Im Allgemeinen ist der Mensch in Beziehung auf seine Dichtigkeit wenig von der des Wassers verschieden, doch ist der Fettleibige bei gleichem Volumen etwas leichter als der Magere. Hat man eingeathmet, so

ist man ziemlich so schwer als ein gleiches Volumen Wasser, nach dem Ausathmen ist man schwerer, denn man hat bei gleichem Gewichte ein kleineres Volumen, und die Kunst des Schwimmens beruht darauf, durch zweckmäßig angewandte Schläge auf das Wasser sich bis zum nächsten Einathmen auf der Oberfläche zu erhalten. Dieses geschieht um so leichter, je mehr Körpertheile in das Wasser eingetaucht sind, weil in diesem Falle der Gewichtsverlust höher steigt. Wer im Schwimmen nicht erfahren ist und in's Wasser fällt, streckt instinctmäßig die Hände in die Höhe. Dadurch sind diese die höchsten Theile des Körpers, und man ertrinkt so leichter, weil die Nase mehr in's Wasser kommt. Man muß daher mit Ausnahme des Gesichtes möglichst viele Körpertheile unter das Wasser zu bringen suchen.

Hieraus erklärt sich auch, warum man auf dem Rücken leichter schwimmt, als auf dem Bauche; denn im ersteren Falle kann man den größten Theil des Kopfes im Wasser bergen. Die vierfüßigen Thiere schwimmen im Allgemeinen leichter als der Mensch, denn sie können dem Bau ihrer Füße gemäß dieselben nicht über das Wasser erheben, ohne daß auch der Kopf über letzteres hervorragte, sie können also nicht den Fehler begehen, der schon so vielen Menschen das Leben gekostet hat, und außerdem ist auch ihr Kopf verhältnißmäßig kleiner und leichter, auch können sie die Nase über dem Wasser erhalten, wenn ein großer Theil des Kopfes eingetaucht ist, was der Mensch wenigstens so lange er auf dem Bauche schwimmt nicht vermag.

Die Schwimmvögel haben in der Gegend des Afters eine Fett aussondernde Drüse und bestreichen mit Hülfe des Schnabels ihre Federn mit diesem Fett. Aus diesem Grunde werden sie nicht naß, und innerhalb ihres Flaums bleibt eine große Menge Luft, welche sie verhältnißmäßig sehr leicht macht und ein allzutiefes Eintauchen in's Wasser verhindert.

§. 50. Es ist unmöglich, die in einem Körper befindlichen Atome zu zählen, und darum läßt sich auch die in demselben befindliche Masse nicht bestimmen. Dafür kann man aber angeben, ob in einem gegebenen Volumen des einen Körpers mehr oder weniger Masse vorhanden sei, als in dem gleichen Volumen eines andern, und es gelingt daher, die Dichtigkeit des einen mit der des andern zu vergleichen, indem man angibt, wie die Gewichte gleicher Volumina der einzelnen Körper sich zu einander verhalten. Bei dieser Vergleichung kann man die Körper ganz beliebig wählen, doch ist man übereingekommen, als Grundlage der Vergleichung das Wasser zu nehmen, dessen Dichtigkeit, oder wie man auch sagt, dessen *specifisches Gewicht* als Einheit gesetzt wird, so lange es sich um die Bestimmung fester und tropfbarflüssiger Körper handelt. Man gebraucht den Ausdruck „*specifisches Gewicht*" zum Unterschiede von dem *absoluten Gewichte*, dem Drucke, den ein in der Luft (oder strenge genommen im luftleeren Raume) befindlicher Körper auf seine Unterlage ausübt und den man mit Hülfe der

Wage findet. Die Dichtigkeit des Wassers ist übrigens nicht für alle Temperaturen dieselbe, und man nimmt bald 0° bald 4° oder auch 15° C. als Ausgangstemperaturen, weßhalb bei Dichtigkeitsbestimmungen der Körper, wenn sie genau sein sollen, auch die betreffende Wärme angegeben werden muß. Die Theorie der Bestimmung ist höchst einfach. Was zunächst die festen Körper anbelangt, so lehrt das archimedische Princip, daß jeder Körper im Wasser so viel an Gewicht verliert, als eine ihm an Volum gleiche Wassermasse wiegt, und dieses gibt ein vortreffliches Mittel, seine relative Dichtigkeit zu finden.

Wenn ein Körper im Wasser eingetaucht den sechsten Theil von dem wiegt, was er in der Luft wog, so hat er im Wasser fünf Sechstheile verloren, da aber der Verlust im Wasser dem Gewichte eines dem Körper gleichen Raumtheiles Wasser angibt, so weiß man alsbald, daß sich die Dichtigkeit des Körpers zu der des Wassers verhält wie 6 zu 5 und das specifische Gewicht ist daher = 1.2. Man wiegt also den Körper zuerst in der Luft, dann während er (Fig. 53) in Wasser eingetaucht ist. Sind g und a die durch jeweilige Wägung erhaltenen Resultate, so ist $\frac{g}{g - a}$ = dem specifischen Gewichte.

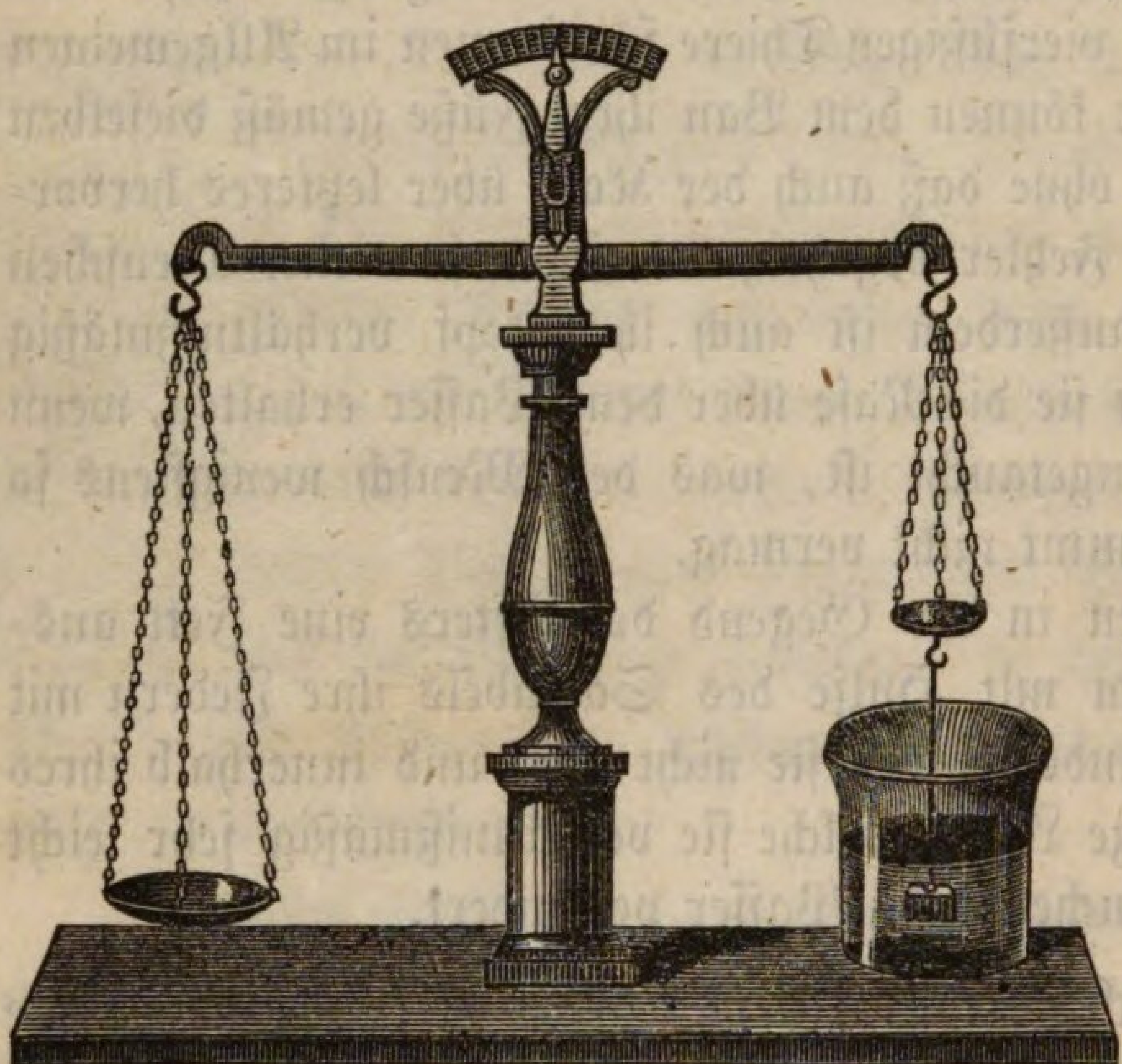


Fig. 53.

§. 51. Wenn ein Körper weniger dicht ist als eine Flüssigkeit, so schwimmt er in derselben und taucht so weit ein, daß die von ihm verdrängte Flüssigkeit gerade so viel wiegt, als er selbst. Läßt man nun einen und denselben Körper nach und nach in Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit eintauchen, so wird er in denselben verschieden weit einsinken, und wenn wir uns die einzelnen Stellen, bis zu denen er sinkt, aufnotiren, so ergibt sich hieraus ein Mittel, auf das specifische Gewicht von Flüssigkeiten Schlüsse zu ziehen. Die zu diesem Zwecke eigens geformten Körper heißen Aräometer.

In der unten befindlichen Kugel a (Fig. 54) des Instrumentes befindet sich etwas Quecksilber als Ballast, um vermöge der Herab-

drückung des Metacentrums die aufrechte Stellung bei dem Eintauchen zu sichern. Der leere Raum b dient dazu, um das Aräometer leichter als die Flüssigkeit zu machen, er verbürgt also das Schwimmen und ist verschieden groß, je nachdem man das Instrument für dichtere oder weniger dichte Flüssigkeiten verwenden will, und an der Röhre von c aufwärts endlich befindet sich eine Scala, an der man das mehr oder minder tiefe Einsinken des Instrumentes abliest.



Fig. 54.

Die Aräometer sind um so empfindlicher, je dünner die obere eingetheilte Röhre im Verhältniß zum Volumen des ganzen Instrumentes ist. Damit jedoch die Röhre nicht zu lange werde, macht man kein Instrument, welches für alle Flüssigkeiten anwendbar ist, sondern nur solche, welche für Flüssigkeiten die entweder leichter oder schwerer sind als Wasser, sich eignen.

Die Aräometer finden im practischen Leben eine vielfache Anwendung; man benützt sie, um die Dichtigkeit der verschiedensten Flüssigkeiten zu bestimmen. Sehr häufig handelt es sich nicht darum, das specifische Gewicht zu erhalten, sondern man will nur wissen, wie stark der Gehalt der zu untersuchenden Flüssigkeit an diesem oder jenem die Dichtigkeit beeinflussenden Stoffe sei, und daraus sind dann die zu speciellem Gebrauche angewandten Aräometer hervorgegangen, die angeben, wie viel Procente an Weingeist dieser oder jener Branntwein enthalte u. s. w.

Hin und wieder wie z. B. bei dem Weingeiste findet man noch Angaben nach Beauméschen Graden, die jedoch weil auf durchaus willkürlicher Grundlage beruhend, keinen wissenschaftlichen Werth haben. Beaumé bestimmte außer dem Wasserpuncte noch einen zweiten fixen Punct dadurch, daß er das Instrument in eine Lösung von 1 Gewichtstheil Kochsalz in 9 Gewichtstheilen Wasser tauchte. Den Raum zwischen diesen beiden Puncten theilte er in 10 gleiche Theile, die er Grade nannte, und die Theilung ist auch noch jenseits der beiden fixen Puncte fortgesetzt. Für Flüssigkeiten, welche schwerer sind als Wasser, ist der Wasserpunct mit 0 bezeichnet, und die Grade werden nach unten gezählt. Für leichtere Flüssigkeiten ist der Wasserpunct mit 10 bezeichnet und die Grade werden nach oben gezählt.

Auch nach Beck werden mitunter Aräometereintheilungen gemacht.

In nachstehender Tabelle sind die beiden Eintheilungen mit dem specifischen Gewichte verglichen.

Flüssigkeiten, leichter als Wasser			schwerer als Wasser		
Grade	Beaumé	Beck	Grade	Beaumé	Beck
70	—	0.7083	0	1.000	1.0000
60	0.744	0.7391	10	1.027	1.0625
50	0.784	0.7727	20	1.157	1.1333
40	0.824	0.8095	30	1.256	1.2143
30	0.875	0.8500	40	1.375	1.3077
20	0.933	0.8947	50	1.515	1.4167
10	1.000	0.9444	60	1.690	1.5454
0	—	1.0000	70	1.909	1.0000

Wenn also eine Flüssigkeit das spec. Gewicht 0.824 hat, so kommen ihr 40 Grade nach Beaumé und (nahezu) 33.6 Grade Beck zu.

Die Theorie der Aräometer kann auch zur Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper benützt werden. Es ist dieses bei dem Nicholsonschen Aräometer der Fall. An dem Instrumente ist unten an einem Bügel von Draht (Fig. 55) eine kleine Schüssel a, oben ein von einem feinen Stäbchen b getragener Teller d angebracht. Man legt nun den zu bestimmenden Körper, etwa ein Mineral, oben auf den Teller, und beschwert diesen außerdem noch so lange mit Gewichten, bis das Instrument bis zu einem in e angebrachten Theilstriche einsinkt. Hierauf wird das Mineral abgenommen und der Teller dafür mit Gewichten belastet. So viel man mehr Gewichte auflegen muß als vorher, bis das Instrument zur Marke einsinkt, so viel beträgt das absolute Gewicht des Minerals. Hierauf bringt man das Mineral in die untere Schale, also in das Wasser und beschwert oben wieder mit Gewichten. Was man jetzt an diesen Gewichten mehr auflegen muß als in dem Falle, wo das Mineral oben auf dem Teller lag, ist der Gewichtsverlust desselben also das Gewicht eines dem Mineral gleichen Volums Wasser, und das absolute Gewicht dividirt durch das letztere gibt das specifische Gewicht. Man gebraucht dieses Instrument vorzugsweise bei kleinen Gegenständen, namentlich Mineralien; es ist bequem, weil man keine Wage dazu nöthig hat.

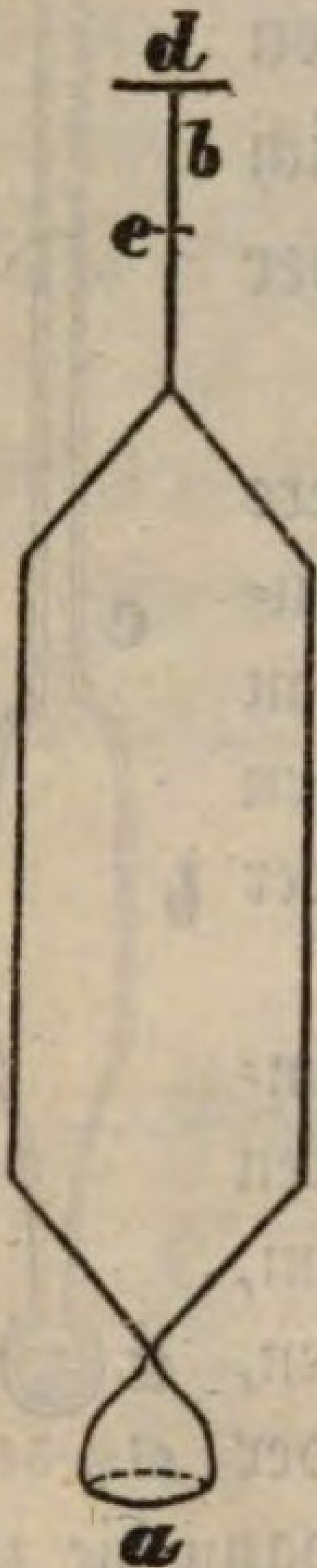


Fig. 55.

§. 52. Weiß man wie groß das Volumen eines Körpers sei, so braucht man nur durch eine einfache Wägung das absolute Gewicht desselben zu suchen und dann das Gefundene durch das absolute Gewicht eines gleichen Volumens Wasser zu dividiren. Bei festen Körpern ist jedoch die directe Bestimmung des Volumens im besten Falle, wenn nämlich der Körper regelmäßig gestaltet ist, sehr umständlich, in der Regel aber wegen der unregelmäßigen Gestalt gar nicht durchführbar, und man ist daher genöthigt, zu dem Archimedischen Principe seine Zuflucht zu nehmen. Nicht so ist es bei den Flüssigkeiten, denn diese nehmen jede Form an, die man ihnen geben will, weil man sie nur in beliebige Gefäße zu gießen braucht. Daraus ergibt sich für diese Körper die allereinfachste Methode der Bestimmung des specifischen Gewichtes. Man nimmt ein Gefäß, von dem man weiß, daß es bis zu einer bestimmten Marke gefüllt, eine gewisse Menge Wasser etwa 1000 Grane enthält. Füllt man dann dieses Gefäß mit einer andern Flüssigkeit wieder bis zur Marke, so ist das Volumen derselben dem des Wassers ganz gleich, und wenn die nunmehrige Wägung das beispielsweise Gewicht 875 Grane angibt, so verhält sich das specifische Gewicht der Flüssigkeit zu dem des Wassers wie 875 zu 1000, ist also = 0.875.

Tafel der specifischen Gewichte einiger festen und flüssigen Körper bei 0 Grad.

Platin	gemünzt	22.100	Diamant		3.520	Lindenholz	frisch	0.817
	gewalzt	22.069	Marmor		2.837		trocken	0.439
	geschmolzen	20.857	Kalium		0.865	Kork		0.24
	Drahtform	19.267	Buxbaumholz		1.330	Quecksilber		13.598
Gold	gemünzt	19.325	Ebenholz		1.226	Schwefelsäure (engl.)		1.848
	geschmolzen	19.253	Ahornholz	frisch	0.904	Schwefelkohlenstoff		1.272
Blei, geschmolzen		11.352		trocken	0.659	Milch		1.030
Silber		10.474	Buchenholz	frisch	0.982	Meerwasser		1.026
Kupfer, gegossen		7.788		trocken	0.590	Wein:	Bordeaux=	0.994
Stahl		7.816	Edeltanne	frisch	0.890	„	Champagner=	0.998
Eisen	geschmiedet	7.788		trocken	0.555	„	Malaga=	1.022
	gegossen	7.207	Erlenholz	frisch	0.857	„	Mosel=	0.916
Zinn		7.291		trocken	0.500	„	Rhein=	0.999
						Alcohol, absoluter		0.793

Aërostatik.

§. 53. Die Gleichgewichtsbedingungen der luftförmigen Körper bieten sehr viele Analogie mit denen der tropfbaren Flüssigkeiten, da auch hier die Gesetze von der allseitigen Fortpflanzung des Druckes gelten, und der characteristische Unterschied beruht auf dem Vermögen der Gase, ihr Volumen bei gleicher Masse innerhalb sehr bedeutender Gränzen schwanken zu lassen, während die tropfbaren Flüssigkeiten in dieser Beziehung sich so wenig ändern, daß man wenigstens so weit es sich um das Gleichgewicht handelt, von Volumsänderungen gänzlich absehen kann.

§. 54. Lange Zeit galt es als ausgemacht, daß die Luft nicht schwer sei, daß sie also auch keinen Druck auf ihre Unterlage ausübe. Dieser Satz wurde sogar noch durch eines der wenigen Experimente bekräftigt, die im Alterthum gemacht wurden, und es war Toricelli, einem Schüler Galilei's vorbehalten, diese alte Ansicht zu erschüttern.

Stellt man ein unten und oben offenes Rohr in ein Gefäß mit Wasser, so muß nach dem Satze der communicirenden Gefäße (§. 47) das Wasser innerhalb und außerhalb der Röhre gleiche Höhe haben. Entfernt man nun durch Saugen die Luft aus der Röhre, so wird man alsbald finden, daß das Wasser in letzterer steigt, und die Ursache dieses Steigens wurde darin gesucht, daß durch die Entfernung der Luft in der Röhre ein leerer Raum entstehen würde, und daß, weil die Natur einen innern Abscheu vor allem Leeren, einen horror vacui habe, das Wasser aufwärts dringe, um diesen leeren Raum im Entstehen wieder auszufüllen. Mit dieser Erklärung begnügte man sich,

bis in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts Pumpenmacher zu Florenz fanden, daß das Wasser sich durch Saugen nicht höher als 32 Fuß heben lasse, also der horror vacui nicht über diese Gränze hinausgehe, und Toricelli, dem die Beobachtung der Pumpenmacher mitgetheilt worden war, schloß daraus, nicht der horror vacui sondern der Druck der Luft veranlasse das Aufsteigen der Flüssigkeiten. Gehen wir nämlich von der Erscheinung aus, daß wenn die offene Röhre ins Wasser gesteckt wird, letzteres innen und außen gleich hoch stehe, so hebt sich der von dem Wasser herrührende Druck auf beiden Seiten der Röhre auf, es kann aber außer dem Wasserdrucke noch der der Luft, welche als weniger dichte Flüssigkeit oberhalb des Wassers ist, seinen Einfluß äußern; es kann die Luft auf das Wasser innerhalb der Röhre drücken und gleichzeitig auf das mit diesem communicirende Wasser außerhalb. Bei den communicirenden Gefäßen muß, wie oben (§. 47) gezeigt wurde, die Höhe und die Dichtigkeit der in jedem Gefäße befindlichen Flüssigkeit berücksichtigt werden, während die Form und Weite derselben ohne allen Einfluß ist. Da dieselbe Atmosphäre über dem Wasser in der Röhre wie außerhalb derselben steht, so muß auch der Luftdruck, wenn ein solcher vorhanden ist, innen und außen gleich sein, und auch seinethalben muß das Niveau beiderseits dasselbe werden. Stellt Fig. 56 eine solche ins Wasser gesteckte Röhre vor, so drückt auf die Stelle c die Flüssigkeitssäule ca innerhalb und cb außerhalb, und über beiden drückt noch die auf dem Wasser lastende Luft. Bringt man nun durch Saugen die Luft in der Röhre weg, so ist ein Druck derselben wohl noch außen aber nicht mehr innen vorhanden, das Gleichgewicht ist gestört, und der außen stärkere Druck treibt das Wasser innen in die Höhe. Wäre die Luft so dicht als wie das Wasser, so könnte man die Röhre so lang machen als die Atmosphäre hoch ist, und durch Aussaugen müßte dann das Wasser in ihr bis oben hinauf gebracht werden können.

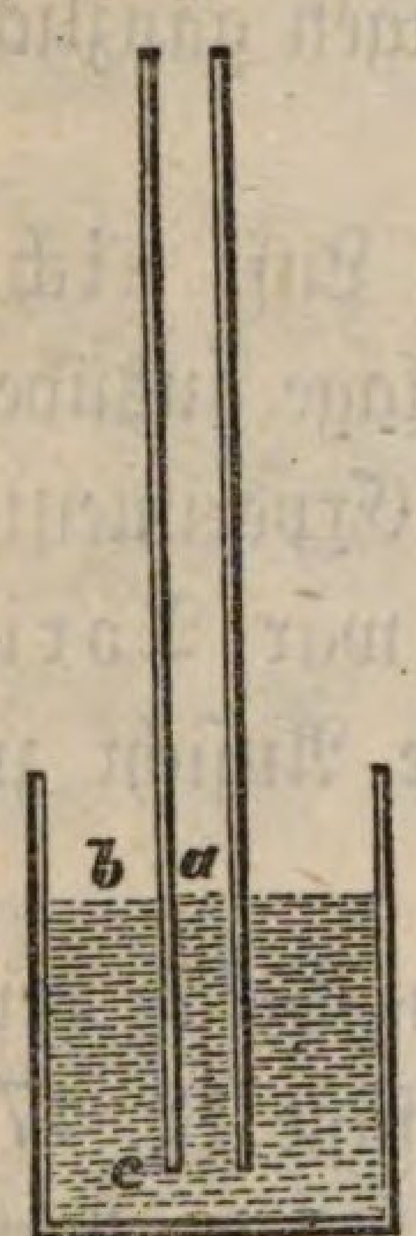


Fig. 56.

Diese Bedingung ist aber nicht erfüllt, die Luft ist bedeutend weniger dicht und es muß daher nach dem bereits (§. 47) angeführten Satze die Höhe der Flüssigkeitssäule in der Röhre gegen die Höhe der ganzen Atmosphäre um so geringer sein, je bedeutender das Wasser die Luft an Dichtigkeit überragt. Durch Saugen kann man das Wasser nicht höher bringen als 32 Fuß, und es ergibt sich daraus, daß der Druck einer Wassersäule von dieser Höhe dem Drucke einer Luftsäule von der

Höhe der ganzen Atmosphäre gleichkommen muß. — Wie es immer mit eingewurzelten Vorurtheilen geht, so konnte man sich auch in diesem Falle nicht so leicht von dem horror vacui trennen, bis es endlich Toricelli gelang, einen weiteren Beweis für die neue Lehre beizubringen. Gesetzt es communiciren 2 Gefäße mit einander, von denen das eine Quecksilber, das andere Wasser enthält, so müssen die beiden Flüssigkeitssäulen sich wie 1 zu 13.6 verhalten, denn das Quecksilber ist so vielmal dichter als das Wasser und seine Säule also niedriger, und wenn die Wassersäule 32 Fuß beträgt, so hat die des Quecksilbers $\frac{32}{13.6}$ Fuß d. i. etwa 28 Zolle. Wenn nun dem Drucke der ganzen Luftsäule der einer Wassersäule von 32 Fuß gleichkommt, und dem Drucke einer Wassersäule von 32 Fuß ein solcher von 28 Zoll Quecksilber, so muß letzterer auch dem Drucke der Luft entsprechen. Toricelli füllte daher (i. J. 1643) eine an dem einen Ende zugeschmolzene Glasröhre mit Quecksilber, stellte sie umgekehrt in eine mit Quecksilber angefüllte Schale und das Resultat war, daß in der That die Säule des Quecksilbers in der Röhre nicht höher stieg als 28 Zoll.

Trotz diesem Zusammentreffen der Theorie mit der Beobachtung hörte noch nicht alle Opposition auf, bis endlich Picard auf folgenden Gedanken kam: Wenn das Aufsteigen der Flüssigkeiten nicht vom horror vacui sondern von dem Drucke der Luft herrührt, so muß an denjenigen Orten, wo der Luftdruck kleiner ist, auch die Quecksilbersäule niedriger stehen. Steigt man auf einen Berg, so hat man eine ganze Menge Luftschichten unter sich, die auf das Quecksilber drückten, als man sich noch im Thale befand, und oben muß daher die Quecksilbersäule kleiner sein als unten. Er bestieg daher (1648) den Puy de Dome bei Clermont und fand in der That ein Fallen von 3 Zollen. Seitdem ist gegen die Annahme, daß die Luft schwer sei und in Folge dessen einen Druck ausübe, keine nennenswerthe Opposition mehr erhoben worden.

§. 55. Die Größe der Säule, bis zu welcher das Quecksilber in der Röhre steigt, gibt die beste Methode, den auf dasselbe ausgeübten Druck zu messen.

Man nennt das Instrument, mit dem dieses geschieht, das Barometer. Strenge genommen kann man den ursprünglichen Apparat Toricellis als Barometer betrachten, und man hat nur seinem Beispiele zu folgen, um ein solches Instrument zu bekommen, denn man braucht nur die Höhe zu messen, bis zu welcher das Quecksilber in der

Röhre über das Niveau desselben in der Schale hinansteigt. Die Unbequemlichkeit des Apparates hat zuerst darauf geführt, Schale und Röhre miteinander fest zu verbinden und so ist das sogenannte Gefäßbarometer (Fig. 57) entstanden. In diesem vertritt die Kugel a (das Gefäß) die Schale. Das in derselben enthaltene Quecksilber hält für sich dem in der engen Röhre bis zu b befindlichen das Gleichgewicht, durch die Oeffnung d herein wirkt der Luftdruck, die Säule bc ist die Wirkung desselben, die an einer von b aus zu nehmenden Scala abgelesen wird, der Raum über c ist luftleer und heißt die Toricellische Leere. Fällt das Barometer, so gelangt das Quecksilber aus der langen Röhre in die Kugel, weshalb dort das Niveau steigt und umgekehrt. Darum ist der Nullpunct der Scala nicht unveränderlich, und es muß daher zur Vermeidung von erheblichen Beobachtungsfehlern die Kugel a so weit genommen werden, daß bei den vorkommenden Schwankungen des Barometerstandes niemals so große Niveauveränderungen in a vorkommen, um einen bemerklichen Einfluß auszuüben, oder man muß die Niveauveränderungen in der Kugel besonders berücksichtigen.

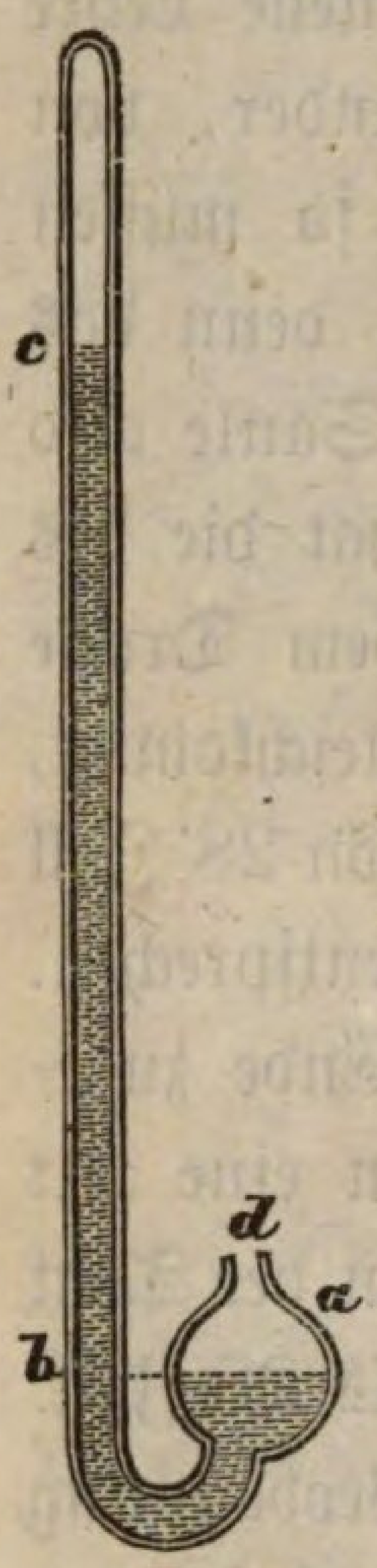


Fig. 57.

Die Gefäßbarometer eignen sich ganz gut zum gewöhnlichen Gebrauche, wenn man das Instrument ruhig an seinem Nagel hängen lassen kann; soll dasselbe aber auf Reisen mitgenommen werden, so ist es fast unvermeidlich, daß Quecksilber verloren geht oder daß Luft in die Toricellische Leere kommt. Es gibt nun eine ganze Menge verschiedener Einrichtungen, die zum Zwecke haben, das Barometer als Reiseinstrument tauglich zu machen. Sie alle zu besprechen, wäre hier überflüssig, und es soll daher nur die Gay=Lussac'sche Einrichtung angeführt werden, welche die größte Verbreitung erlangt hat.

Das Gay=Lussac'sche Instrument ist ein sogenanntes Heberbarometer, d. h. ein solches, in welchem statt des Gefäßes eine kürzere oben offene Röhre benützt wird, die von gleichem Kaliber ist als wenigstens der obere Theil der langen Röhre. Sinkt nun das Quecksilber in der langen, geschlossenen Röhre, so steigt es in der kurzen, der Nullpunct der Scala ist daher veränderlich, und es ist dadurch, daß man letztere verschieben kann, dafür gesorgt, daß man sie immer auf die richtige Höhe zu stellen vermag. Die Gestalt des Barometers ist im Wesentlichen die in Fig. 58 dargestellte. Man sieht, daß auch die kurze Röhre

oben geschlossen ist und nur an der Seite in a eine ganz kleine Oeffnung hat, groß genug, um die Luft passiren zu lassen, so daß der nämliche Effect hergestellt ist, wie wenn die Röhre oben offen wäre, aber zu klein, um auch Quecksilber durchzulassen, weshalb auch nichts davon verloren gehen kann. Zum Transporte wird das Instrument zuerst geneigt, bis das Quecksilber die lange Röhre ganz ausfüllt, worauf es vollkommen umgestürzt werden kann. Was von dem Quecksilber in der Röhre nicht Platz hat, sammelt sich in b (Fig. 59). So lange bei dem Transporte des Instrumentes der Punct d höher liegt als c, ist kein Nachtheil für dasselbe zu befürchten.

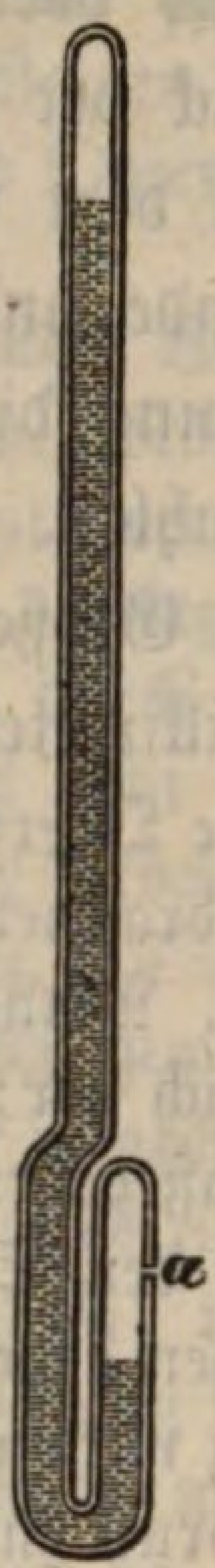




Fig. 58. Fig. 59.

1) Die erste und nothwendigste Bedingung, welche ein gutes Barometer erfüllen muß, ist die, daß sich in der längeren Röhre keine Luft befindet, und es muß um dazu zu gelangen, das Quecksilber in der Röhre ausgekocht werden. Ist ein Instrument in dieser Beziehung zu untersuchen, so neige man dasselbe so weit, daß das Quecksilber die lange Röhre ganz ausfüllt. Enthält die Toricellische Leere Luft, so wird diese am obern Ende der Röhre eine größere oder kleinere Blase bilden, die bei keiner Neigung des Barometers ganz verschwindet. Ist im Toricellischen Raume Luft, so gibt das Instrument den Luftdruck zu niedrig an.

2) Das zu Barometern benützte Quecksilber muß rein sein, denn wenn es andere Stoffe enthält, so ändert sich seine Dichtigkeit, und es kann sich das Glas der Röhre mit den fremden Beimischungen so beschlagen, daß man nicht mehr im Stande ist, den Barometerstand genau abzulesen. Bei langem Kochen nimmt das Quecksilber leicht aus der Luft Sauerstoff auf, und ist dann durch Quecksilberoxyd verunreinigt. Man erkennt dieses, wenn sich seine sonst convexe Oberfläche in der Röhre abflacht, selbst wenn der Röhrendurchmesser nicht bedeutend groß ist.

3) Die Röhre darf nicht zu eng sein, weil das Quecksilber in engen Röhren bei seinen Bewegungen zu viel Reibungswiderstand erfährt, und bei Gefäßbarometern der später zu erwähnenden Capillarität wegen der Luftdruck zu niedrig angegeben wird. Bei Heberbarometern fällt diese Fehlerquelle bei dem gleichen Durchmesser beider Röhren weg, weil der Fehler an beiden Enden gleich wirkt und sich dadurch selbst aufhebt.

4) Bei der Beobachtung ist es nothwendig, daß das Barometer senkrecht steht; wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, so liest man einen zu hohen Barometerstand ab.

§. 56. Wenn man die Höhe der Quecksilbersäule kennt, welcher die Luft das Gleichgewicht zu halten im Stande ist, so läßt sich nach

dem, was oben von dem Drucke der Flüssigkeiten gesagt worden ist, der Druck der Luft auf eine gegebene Fläche leicht berechnen, denn er ist gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule, deren Höhe dem Barometerstande und deren Basis der gegebenen Fläche gleichkommt. Bei Ausführung dieser Rechnung kommt man sehr bald auf ganz bedeutende Zahlen. So ist z. B. der Druck, den die Luft auf eine Fläche von der Größe eines Quadratmeters bei einem Barometerstande von 760 Millimetern ausübt, nicht geringer als 20650 Pfunde.

Die Oberfläche eines erwachsenen Menschen ist bedeutend größer als ein Quadratmeter und es resultirt für ihn ein Druck von mehr als 30000 Pfunden. Manchem kommt diese Ziffer nicht nur überraschend, sondern sogar unglaublich vor; doch läßt sich die Möglichkeit leicht einsehen, wenn man bedenkt, daß dieser Druck nicht von oben, sondern von allen Seiten her wirkt. Die von den Seiten her kommenden Wirkungen heben sich gegenseitig auf, wir werden daher nicht auf die Seite geschoben, und was den in verticaler Richtung wirkenden Druck anbelangt, so steht dem abwärtskommenden Drucke der Aufdruck entgegen. Beide sind nicht ganz gleich, denn der letztere ist um die Wirkung einer Luftsäule von der Höhe des Menschen und der Größe seines Querdurchschnittes größer als der Niederdruck, der Mensch verliert an seinem Gewichte so viel als die Luft wiegt, die er verdrängt. Statt daß also 30000 Pfunde uns niederdrücken, werden wir sogar wenn auch allerdings um eine kaum nennenswerthe Größe gehoben. Es geht aus dieser Betrachtung hervor, daß der Druck der ruhigen Luft uns nicht von der Stelle bewegen kann, doch bleibt nichtsdestoweniger gewiß, daß von allen Seiten her wirkende Kräfte, die zusammen einen Betrag von 30000 und mehr Pfunden erreichen, uns zusammenzudrücken drohen, und es ergibt sich daraus die Frage, ob unser Körper auch im Stande sei, diese Pressung auszuhalten. Er ist es allerdings, denn wir haben keine Höhlungen in unserm Innern, die leer wären. Wo in uns nicht körperliche Substanz ist, da befindet sich Luft von der Dichtigkeit der äußern und hebt den von außen kommenden Druck auf. Entweicht ein Theil dieser in uns enthaltenen Luft, so drückt die äußere Luft auch alsbald den Körper um einen entsprechenden Theil zusammen, und unsere Brust nimmt einen kleineren Raum ein, sobald wir ausgeathmet haben. Bei Lungensüchtigen, die durch ihre Krankheit einen Theil ihrer Lunge, des Organes in dem sich vorzugsweise die Luft aufhält, verloren haben, wird man auch immer wahrnehmen, daß ihr Brustkasten bedeutend kleiner ist, als er im gesunden Zustande war. Die Flüssigkeiten, die in uns circuliren, üben auf die Gefäße, in denen sie enthalten sind, einen von innen nach außen gerichteten Druck aus, und die Festigkeit derselben ist so eingerichtet, daß sie dieser von innen heraus kommenden Wirkung Widerstand leisten können, sobald ihnen der Druck der Luft, der von außen herein wirkt, zu Hülfe kommt. Die Wirkung des Schröpfkopfes beruht auf der localen Entfernung des Luftdruckes, und würden wir uns ganz im luftleeren Raume befinden, so würde sich die bei dem Schröpfkopfe locale Wirkung in eine allgemeine umwandeln.

In den Höhen ist der Luftdruck geringer als in der Tiefe und schon dieses Geringerwerden macht sich dadurch geltend, daß auf hohen Bergen Menschen und Thiere durch Uebelbefinden, Blutungen aus Nase und Ohren u. s. w. geplagt werden.

Eine andere Wirkung des Luftdruckes haben die Gebrüder Weber gefunden. Betrachtet man das Knochengerüste des menschlichen Körpers, so findet man an jeder Seite des Beckens eine spiegelglatte, mit einer schlüpfrigen Flüssigkeit benetzte Vertiefung, die Pfanne, in welche der kugelförmige Kopf des Schenkelknochens genau paßt. Dieser Kopf wird durch den Luftdruck in die Pfanne hineingepreßt, und durch diesen Druck nicht durch die Muskeln wird das Bein gehalten, weßhalb letztere nur die Arbeit zu verrichten haben, das Bein nöthigenfalls in Bewegung zu setzen. Dieser Luftdruck hängt von der Größe der Pfanne ab und reicht unter gewöhnlichem Luftdrucke hin, das ganze Bein zu tragen; wenn man aber in große Höhen steigt, wo der Luftdruck bedeutend geringer ist, so vermag er es nicht mehr, die Muskeln müssen daher sein Geschäft zum Theile übernehmen, und daher kommt es, daß Reisende auf hohen Bergen bei geringer Bewegung schon eine auffallende Müdigkeit verspüren. Ist man in der Höhe geboren und aufgewachsen, so scheint der Querschnitt der Pfanne und somit auch der Luftdruck größer zu werden, wenigstens tanzen die Eingeborenen in Oberperu in einer Höhe von 12000 Fuß so lustig, als man es im Tieflande thut. Man hat auch bei englischen Hunden, die man in die 7000 Fuß hohe Hochebene von Mexico brachte, gefunden, daß sie zur Jagd untauglich waren, während ihre im Lande geborenen Jungen sich wieder so gut dazu eigneten, als ihre Eltern in England.

Es wurde oben erwähnt, daß der Mensch vermöge des Luftdruckes nicht nur nicht von oben herab gedrückt, sondern daß er sogar eigentlich in die Höhe gehoben werde und so viel an seinem Gewichte verliere, als die Luft wiegt, welche er verdrängt. Hätte die Luft mit dem Menschen gleiches specifisches Gewicht, so würde dieser auf eine Wage gebracht keinen Druck mehr auf sie ausüben, er würde also gar nichts mehr wiegen. Das Gleiche gilt von allen übrigen Körpern und ist die unmittelbare Folge des archimedischen Principes, das auf die Luftarten ebenso seine Anwendung findet, als auf die tropfbaren Flüssigkeiten. Wenn man daher irgend einen Gegenstand in der Luft wiegt, so erhält man strenge genommen sein absolutes Gewicht nicht, es muß dieses bei genauen Wägungen erst durch Berücksichtigung der Luftwirkung ermittelt werden. Im gewöhnlichen Leben nimmt man jedoch auf diesen Umstand als zu geringfügig keine Rücksicht.

§. 57. Während die tropfbaren Flüssigkeiten selbst unter dem Einflusse sehr bedeutenden Druckes ihr Volumen nur so wenig verändern, daß man von dieser Aenderung, wenn es sich nicht um sehr genaue Untersuchungen handelt, absehen kann, sind die Luftarten einem steten Wechsel unterworfen. Die kleinsten Theile, aus denen die Gase bestehen, haben das Bestreben, sich von einander zu entfernen, je größer

aber die erreichte Entfernung ist, um so mehr nimmt dieses Bestreben ab, und um so leichter wird es einem von außen her wirkenden Drucke möglich, das Gleichgewicht zu halten. Nimmt der äußere Druck zu, so werden die Lufttheilchen zusammengedrängt, dabei aber wächst auch ihr Bestreben, sich auszudehnen, und es muß daher bei einem kleineren Volumen zu einem neuen Gleichgewichtszustande kommen. Bei zunehmendem Drucke nimmt also das Volumen ab, und die Norm, nach welcher dieses geschieht heißt: Die Räume, welche ein beliebiges Quantum Luft unter verschiedenen äußeren Drucken einnimmt, sind diesen Drucken umgekehrt proportional oder: Die Dichtigkeit einer Luft wächst wie der Druck der auf ihr lastet. Man nennt diese Norm nach ihrem Entdecker das Mariottesche Gesetz. Um dieses Gesetz nachzuweisen, bedient man sich einer Glasröhre von der Form der Röhre eines Heberbarometers, bei welcher jedoch zum Unterschiede von diesem der kürzere Schenkel zugeschmolzen, der längere offen ist.

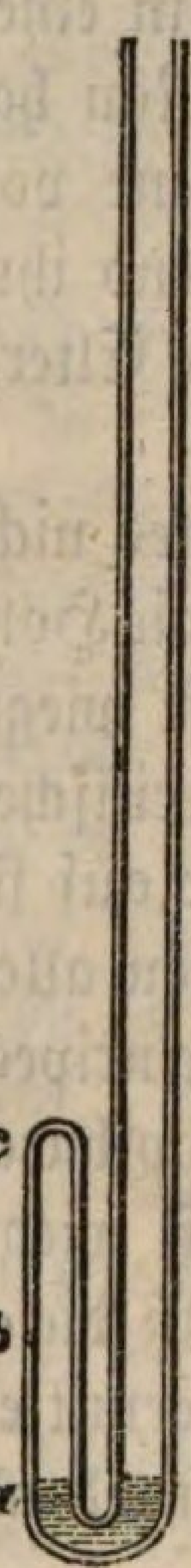


Fig. 60.

Befindet sich in dem Raume ac (Fig. 60) Luft, welche durch Quecksilber abgesperrt ist, welches in beiden Schenkeln der Röhre gleich hoch steht, so hebt sich der Druck des Quecksilbers nach dem Satze von den communicirenden Röhren beiderseitig auf; aber in der offenen langen Röhre drückt auf dasselbe noch eine Luftsäule von der Höhe der ganzen Atmosphäre, und wäre ac leer, so würde das Quecksilber vermöge des einseitigen Luftdruckes ausweichen und die kurze Röhre ausfüllen. Daß dieses nicht geschieht, daran ist das Ausdehnungsvermögen der in ac eingeschlossenen Luft Schuld, welche sonach unter dem Drucke einer Atmosphäre ein bestimmtes Volumen besitzt, und deren Theilchen gegenseitig sich so viel abstoßen, um dem ganzen Atmosphärendrucke das Gleichgewicht zu halten. Gießt man nun in die lange Röhre Quecksilber, so bestrebt sich dieses im Vereine mit der Atmosphäre, die Luft in ac zusammenzudrücken, und wenn diese vorher im Stande war, der Atmosphäre das Gleichgewicht zu halten, so vermag sie dieses nicht mehr, sobald dieselbe das Quecksilber zum Bundesgenossen hat, ihr Volumen wird daher kleiner, und wenn der Niveauunterschied des Quecksilbers außen und innen so groß ist, als die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer, dann zeigt sich, daß die Luft in ac nur noch das halbe Volumen von vorhin hat; sie reicht jetzt von

c bis b. In der langen Röhre wirkt aber jetzt das Quecksilber mit dem Drucke einer Atmosphäre (Barometerstand) und darüber noch wie vorher die Luftsäule mit gleicher Kraft. Ist der Niveauunterschied des Quecksilbers gleich zwei Barometerhöhen, so hat die Luft nur noch den dritten Theil des ursprünglichen Volumens u. s. w.

Das Mariottesche Gesetz gilt auch für Drucke, welche geringer sind als der einer Atmosphäre, wie sich durch nebenstehenden Apparat (Fig. 61) leicht nachweisen läßt. In einer weiten mit Quecksilber gefüllten Röhre M befindet sich eine engere N, welche in dem obern Theile Luft, außerdem Quecksilber enthält. Drückt man die enge Röhre so weit in die weite hinab, daß das Quecksilber-Niveau in beiden gleich hoch steht, so hebt sich der Quecksilberdruck innen und außen auf, außerhalb aber drückt noch die Atmosphäre, und dieser Druck einer Atmosphäre wird durch die Spannkraft der inneren Luft aufgehoben. Zieht man die enge Röhre in die Höhe, so steigt auch das Quecksilber in derselben, doch weniger rasch als die Röhre selbst. Hat man nun so weit aufgezogen, daß das Quecksilber um die Hälfte des Barometerstandes über das äußere Niveau hervorragt, so muß die Atmosphäre zunächst dieser Säule das Gleichgewicht halten und der Rest, also die Hälfte ihres Druckes, wird auf die Compression der eingeschlossenen Luft verwendet. Diese hat nunmehr nur die Hälfte eines Atmosphärendruckes auszuhalten, und vergleicht man ihr Volumen mit dem früheren, so ist es jetzt doppelt so groß als vorher. Man kann diese Erscheinung auch in der Weise erklären, daß man sagt, die Luft habe bei größerem Volumen eine geringere Spannkraft, weshalb es der außen wirkenden Atmosphäre möglich ist, das Quecksilber noch in der innern Röhre aufwärts zu drücken. Beträgt die Quecksilbersäule im Innern zwei Drittheile des Barometerstandes, so wirkt die Atmosphäre nur noch mit einem Drittheil ihrer ursprünglichen Stärke auf die Compression der eingeschlossenen Luft und das Volumen derselben wächst auf die Größe 3 u. s. w.



Fig. 61.

Aus dem Mariotteschen Gesetze läßt sich sehr leicht die Ursache ersehen, warum die Toricellische Leere im Barometer vollkommen luftfrei sein muß, denn wenn die Luft in derselben bei der Dichtigkeit der äußern nur $\frac{1}{1000}$ von der Toricellischen Leere einnimmt, so drückt sie das Quecksilber noch um $\frac{1}{1000}$ des wahren Standes herab, was jede genaue Messung illusorisch macht.

Da die Spannkraft der Luft auch wesentlich von der Temperatur abhängt, so können die angeführten Versuche nur dann richtige Resultate geben, wenn die Wärme der Luft in allen Versuchen die nämliche bleibt. Nach Regnault gilt das Mariottesche Gesetz für die atmosphärische Luft, Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff auch bei mäßigem Drucke zwischen 1 und 20 Atmosphären nicht mit vollkommener Genauigkeit; doch sind die Abweichungen nur bei der Kohlensäure beträchtlich, bei den andern drei Gasen gering.

§. 58. Wenn man mit dem Barometer auf einen Berg steigt, so hat man eine größere oder geringere Anzahl von Luftschichten unter sich, die man in der Tiefe über sich hatte und die dort durch ihren Druck auf das Quecksilber eine Erhöhung des Barometerstandes veranlaßten. Es muß daher in größeren Höhen der Barometerstand ein geringerer werden, und die Beobachtung desselben muß die Möglichkeit zulassen, die Höhe selbst zu bestimmen. Hätte man es bei der Luft wie bei dem Wasser mit einem Körper von constantem Volumen zu thun, so würden die Höhenmessungen dadurch außerordentlich einfach, denn ein Aufsteigen um eine bestimmte Anzahl von Fußen würde stets ein Fallen des Barometers um eine und dieselbe Größe zur Folge haben, da aber die Luft in hohem Grade comprimirbar ist, so muß die Dichtigkeit der untern Schichten derselben, auf denen die obern lasten, eine größere und ihre Einwirkung auf das Barometer eine verhältnißmäßig bedeutendere sein. In den untern Schichten der Atmosphäre ist der Unterschied des Barometerstandes gleich weit über einander liegender Puncte größer als in der Höhe.

Bei einem Barometerstande von 28 Zoll oder 336 Linien und einer Temperatur von 0° ist die Dichtigkeit der Luft nahe $\frac{1}{10500}$ der Dichtigkeit des Quecksilbers und wenn man daher das Barometer um 1 Linie fallen sehen will, muß man um 10500 Linien oder nahezu 73 Fuß in die Höhe steigen. Der Barometerstand beträgt hier in Linien ausgedrückt 335 oder was dasselbe ist $336 \cdot \frac{335}{336}$. In der nächsthöheren Schichte von 73 Fuß hat die Luft nicht mehr denselben Druck auszuhalten wie unten, es ist daher auch ihre Dichtigkeit eine geringere, und letztere verhält sich nach dem Mariotteschen Gesetze zu der früheren wie 335 zu 336. Wenn daher in den ersten 73 Fuß das Barometer um 1 Linie gefallen ist, fällt es in den zweiten um $\frac{335}{336}$ Linien und der Barometerstand ist daher hier

$$336 \cdot \tfrac{335}{336} - \tfrac{335}{336} = (336-1)\tfrac{335}{336} = \tfrac{335^2}{336} = 336 \cdot (\tfrac{335}{336})^2.$$

Die Dichtigkeit der Luft in der nächsthöheren Schichte verhält sich zu der der untersten wie die entsprechenden Barometerstände, also wie $336(\frac{335}{336})^2 : 336$ oder wie $(\frac{335}{336})^2 : 1$ und in den nächsten 73 Fuß fällt das Barometer um $(\frac{335}{336})^2$ Linien. Es beträgt daher sein Stand dort oben

$$336(\tfrac{335}{336})^2 - (\tfrac{335}{336})^2 = (336-1)(\tfrac{335}{336})^2 = \tfrac{335^3}{336^2} = 336(\tfrac{335}{336})^3.$$

Auf dieselbe Weise kommt man für die vierte Station zu dem Schlusse, daß dort der Barometerstand $336(\frac{335}{336})^4$ und allgemein für die n^{te} an der man nmal 73 Fuß gestiegen ist, daß er dort $336(\frac{335}{336})^n$ sein müsse.

Sind Fig. 62 a, b, c . . . die auf einander folgenden je 73 Fuß höheren Stationen, so werden ihnen die beigefügten Barometerstände entsprechen.

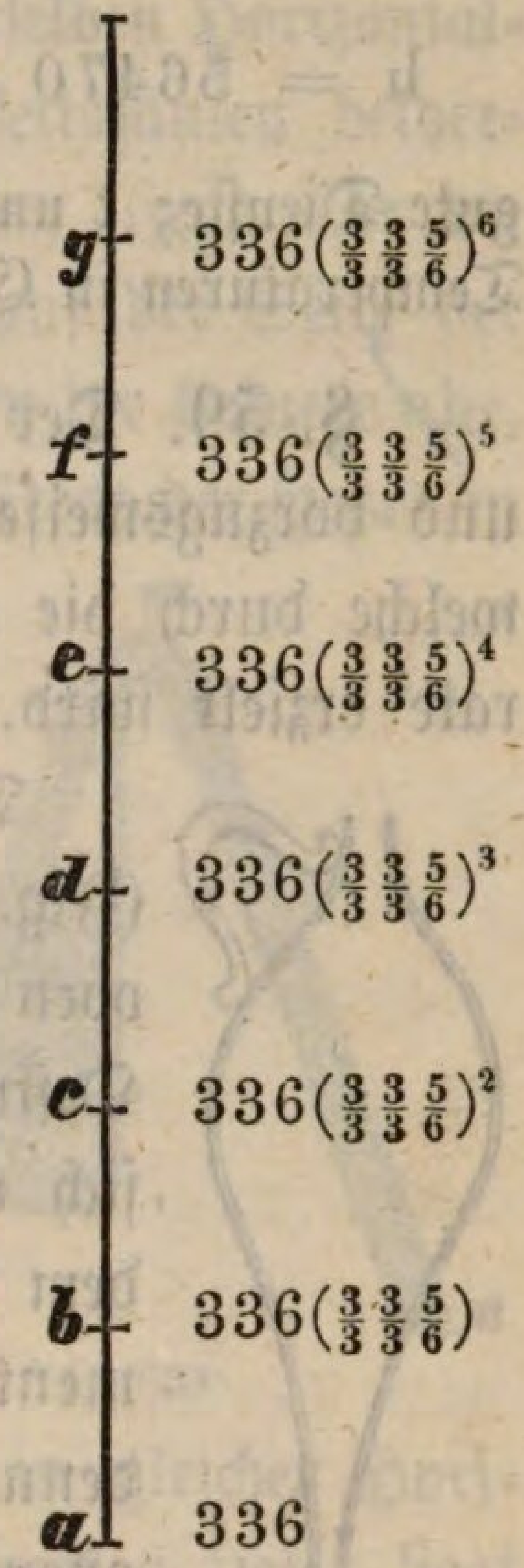


Fig. 62.

In der vorstehenden Ableitung ist von dem strenge genommen unrichtigen Satze ausgegangen, daß die Dichtigkeit der Schichten in ihrer ganzen Höhe von 73 Fuß unveränderlich sei. Der dadurch begangene Fehler ist um so größer, je mehr die Dichtigkeit der obersten Theile einer Schichte von der der untersten differirt. Würde man von a aus nur so weit gestiegen sein, bis das Barometer um eine halbe Linie gefallen wäre, so hatte man dieselbe Rechnung durchzuführen und es würde dadurch nur die Aenderung eintreten, daß die Schichten dünner aber zahlreicher und der Fehler wegen der geringeren Dichtigkeitsdifferenzen innerhalb der Schichten kleiner geworden wäre, und der eingeklammerte Ausdruck würde dann $\frac{335.5}{336}$ heißen. Man kann nun die Schichten so dünn nehmen, daß der aus ihrer Ungleichartigkeit hervorgehende Fehler verschwindend klein wird, und es wird dann der zwischen den Klammern befindliche Bruch in seinem Nenner den Barometerstand B des Ausgangspunctes, in seinem Zähler den der Basis der nächsthöheren Schichte b_1 entsprechenden enthalten. Setzt man $\frac{b_1}{B} = q$ und nennt man den auf der zu messenden Höhe beobachteten Barometerstand b, so wird, wie sich aus dem Vorstehenden leicht ergibt

$$b = Bq^n$$

$$n = \frac{\log b - \log B}{\log q}$$

in welcher Gleichung n die Zahl der Schichten angibt, welche sich zwischen a und der obersten Station befinden.

Auch mit Zuhülfenahme des Mariotteschen Gesetzes ist das Resultat der barometrischen Höhenmessung nur als ein annäherndes zu betrachten, da die Veränderlichkeit des Barometerstandes an demselben Orte, die Temperatur der Luft, ihre Feuchtigkeit, die Abnahme der Schwere mit der Höhe, ihre Verschiedenheit in den verschiedenen Breiten u. s. w. von großem Einflusse sind. Die größte Schwierigkeit bietet neben dem Schwanken des Luftdruckes die Wärme der Luft; man sollte strenge genommen die Temperatur sämmtlicher zwischen der untern und der obern Station befindlichen Luftschichten kennen und da dieses unmöglich ist, so können die Fehler selbst unter den günstigsten Umständen bis zu 1 Procent steigen. Kommt es auf große Genauigkeit nicht an, so leistet die Formel:

$$h = 56470 \left(1 + 0.0037 \left(\frac{t + T}{2}\right)\right) (\log B - \log b)$$

gute Dienste; t und T bedeuten die an den extremen Stationen beobachteten Temperaturen in Celsiusgraden, h gibt die Höhe in Pariser Fußen.

§. 59. Der Druck der Luft wird in der Praxis vielfältig benützt und vorzugsweise ist es die Ortsveränderung tropfbarer Flüssigkeiten, welche durch die auf der Wirkung des Luftdruckes beruhenden Apparate erzielt wird.

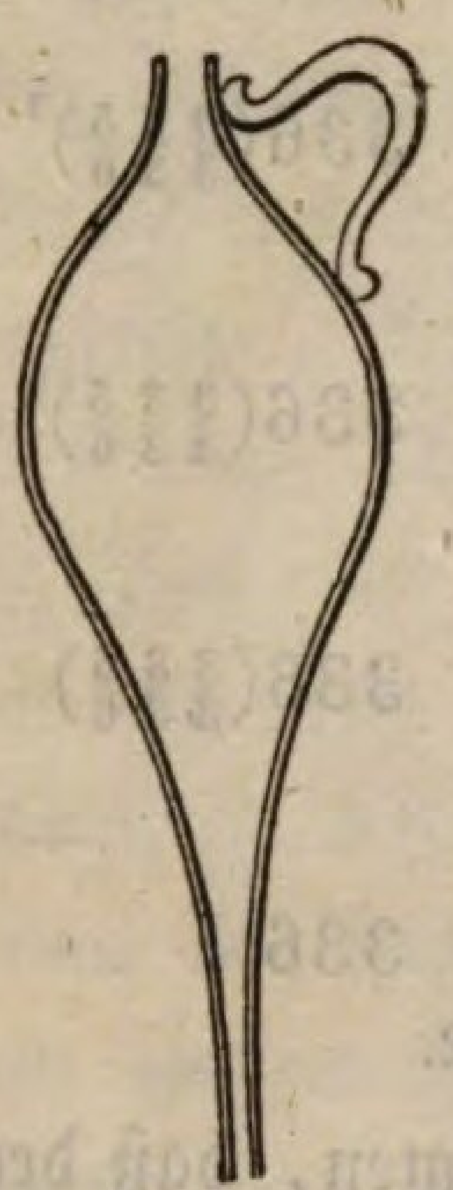


Fig. 63.

Die einfachste dieser Einrichtungen ist der Stechheber (Fig. 63), gewöhnlich ein etwas bauchiges Gefäß, welches oben und unten enger ist. Taucht man es, wenn beide Oeffnungen frei sind, ganz in eine Flüssigkeit, so füllt es sich mit dieser, und wenn dann die obere Oeffnung mit dem Daumen geschlossen wird, so kann man das Instrument in die Höhe heben, ohne daß Flüssigkeit ausläuft, denn sie wird durch den Druck der Luft, der an dem offenen untern Ende wirkt, daran verhindert, wie dieses auch bei dem Bierfasse der Fall ist, so lange der Spund nicht entfernt wird.

Ist die untere Oeffnung des Stechhebers von beträchtlicher Größe, so kommen an der durch sie nach dem Ausziehen begränzten Fläche leicht Wellen zum Vorschein, welche Luftblasen das Eindringen von unten her und in Folge davon das Austreten der Flüssigkeit gestatten. Man vermeidet dieses, wenn man die untere Oeffnung vor dem Ausziehen mit Papier bedeckt. Füllt man ein Trinkglas mit möglichst ebenem Rande mit Wasser, bedeckt dieses mit Papier und kehrt dann bei aufgedrückter flacher Hand das Glas um, so kann man, wenn dieses geschehen ist, die Hand wegnehmen, ohne daß Wasser austritt.

§. 60. Der Heber ist eine gebogene Röhre (Fig. 64), deren Schenkel eine ungleiche Länge haben. Füllt man ihn mit einer Flüssigkeit, so haben die in ab und ad befindlichen Theile das Bestreben, je nach ihrer Seite herabzufallen, doch wirkt dieser Bewegung der an den beiden Oeffnungen thätige Druck der Luft entgegen. Dieser Druck verhindert das Entstehen eines luftleeren Raumes in a, welcher offenbar zum Vorschein käme, wenn die Flüssigkeit von dort aus nach verschiedenen Richtungen abfließen

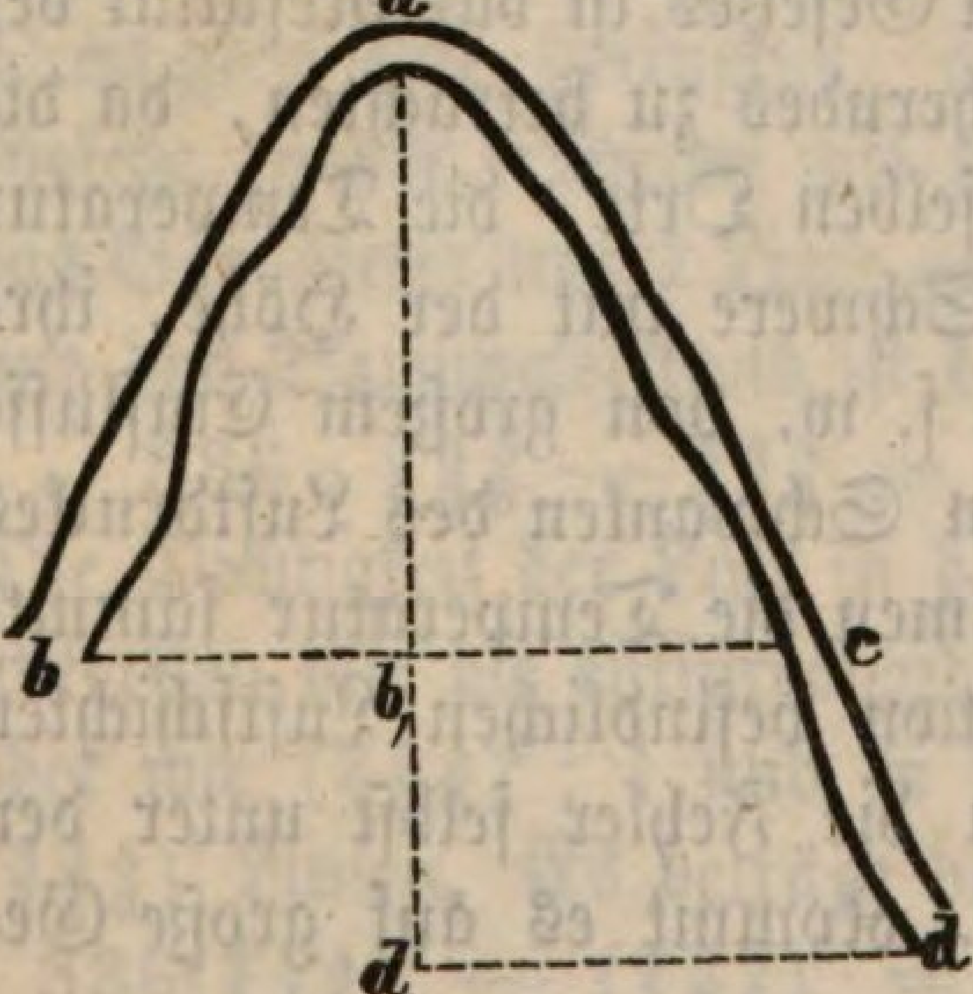


Fig. 64.

würde. Befinden sich die beiden Oeffnungen in derselben Horizontalebene wie b und c, so sind die Höhen der Flüssigkeitssäulen beiderseits gleich, und es kann keine Bewegung stattfinden; liegt aber die eine Oeffnung d tiefer als die andere b, so wirkt auf der Seite der ersteren die höhere Flüssigkeitssäule ad_1, in der andern die kleinere ab_1, und es findet eine Bewegung von b nach d statt. Steckt der Heber in einem Gefäße (Fig. 65), welches ebenfalls Flüssigkeit enthält, so hält sich nach dem Satze der communicirenden Gefäße die Flüssigkeit in dem Gefäße und in der Röhre von f bis a im Gleichgewichte. Dasselbe findet statt in den Theilen ae und be, die Flüssigkeit in bc bedingt Uebergewicht nach ihrer Seite und sie tritt in c aus. Da in f immer neue Flüssigkeit aus dem Gefäße in die Röhre eintritt, entleert sich ersteres bis das Niveau in ihm mit c in gleicher Horizontalebene steht, oder es entleert sich vollständig, wenn c tiefer liegt als der Boden des Gefäßes.

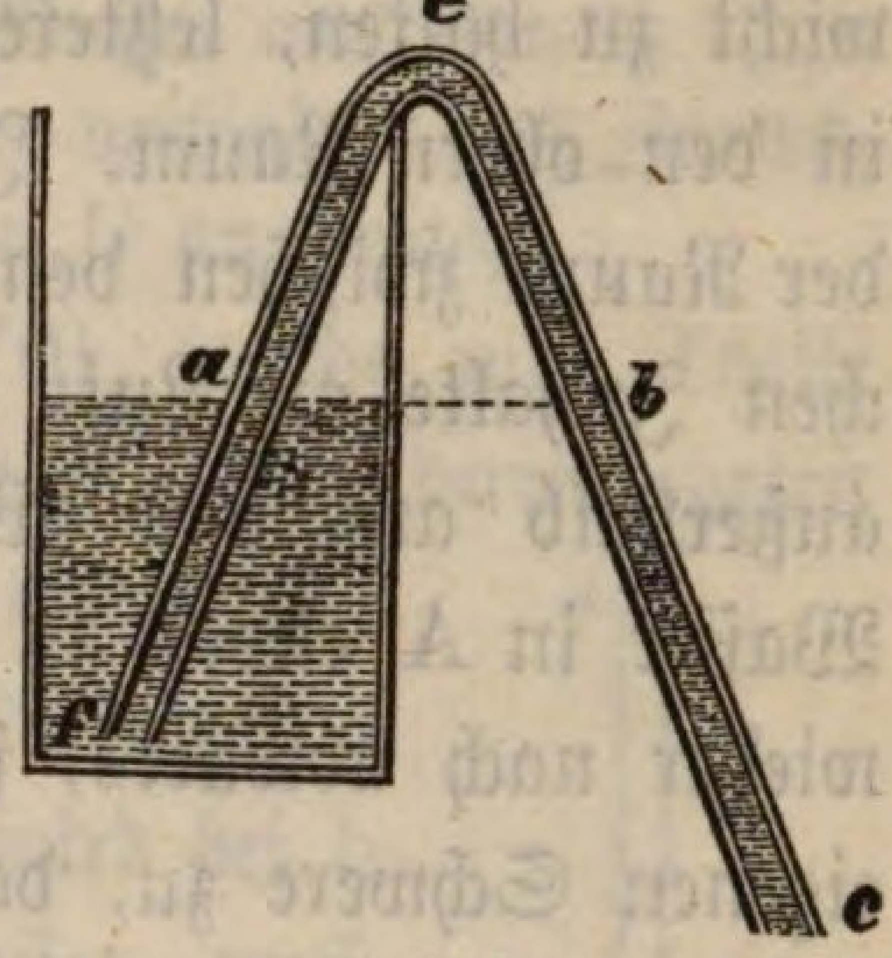


Fig. 65.

Man bedient sich des Hebers, um Flüssigkeiten aus Gefäßen zu entfernen, die nicht gestürzt werden sollen.

§. 61. Die Pumpe (Fig. 66 u. 67) besteht aus einem in das Wasser reichenden Rohre A, dem Saugrohre, auf welchem luftdicht schließend das Kolbenrohr B angebracht ist, und in diesem läßt sich vermittelst der Stange a der luftdicht anpassende Kolben b auf- und abwärts bewegen. In c befindet sich ein Ventil, eine Scheibe, welche durch einen Druck von unten veranlaßt die in Fig. 66 angegebene Stellung einnimmt, aber bei dem Aufhören dieses Druckes vermöge ihrer eigenen Schwere oder eines von oben herab wirkenden Druckes die Stellung Fig. 67 bekommt. In gleicher Weise ist ein Ventil in dem Kolben b angebracht; wirkt der Druck von oben, so hat es die Stellung Fig. 66, wirkt er von unten, so wird dieselbe durch die in Fig. 67 angegebene ersetzt.

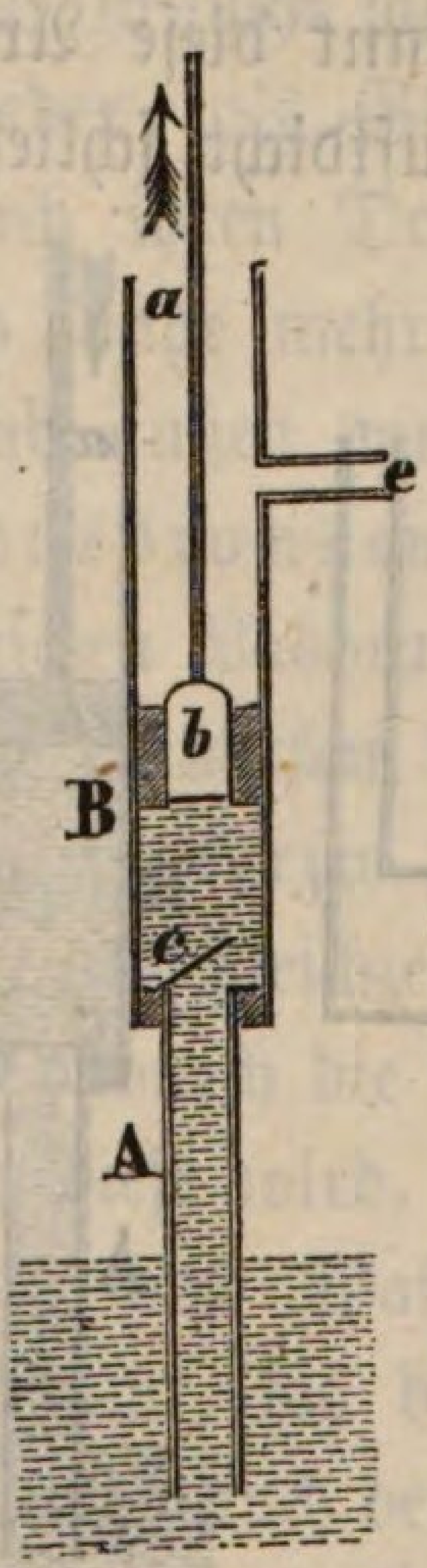


Fig. 66.

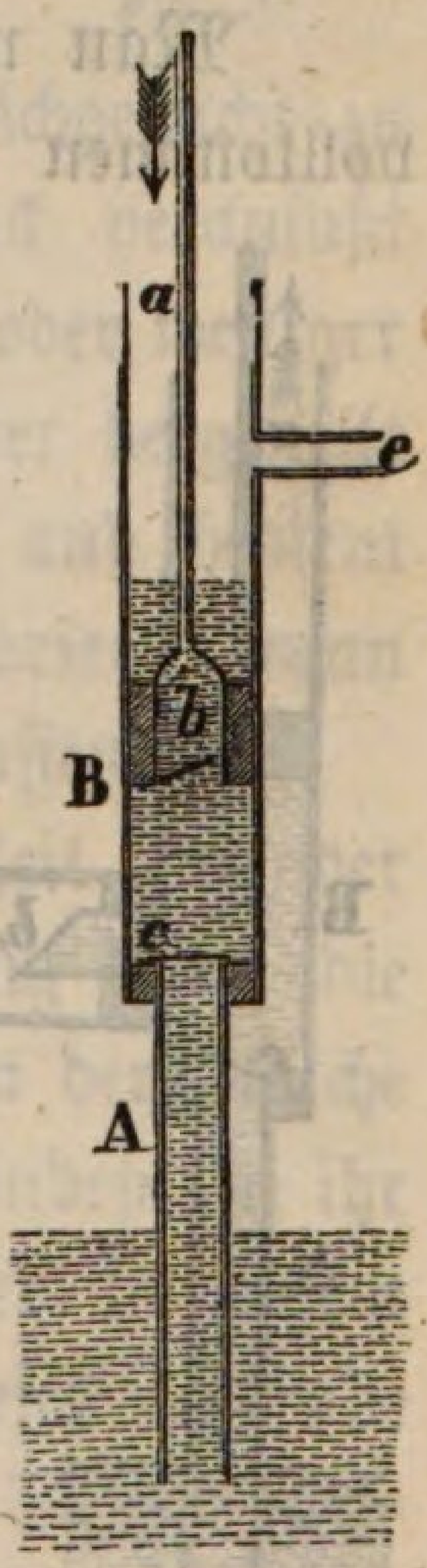


Fig. 67.

Zieht man nun (Fig. 66) die Stange a und mit ihr den Kolben b in die Höhe, so schließt sich das in diesem enthaltene Ventil sowohl wegen seiner eigenen Schwere, als auch wegen des auf ihm lastenden Atmosphärendruckes, der Raum unter b vergrößert sich und dadurch wird die in ihm enthaltene Luft verdünnt, der von ihr ausgeübte Druck ist nicht mehr hinreichend der in A befindlichen das Gleichgewicht zu halten, letztere drückt das Ventil c auf und bringt zum Theile in den obern Raum. Jetzt ist in A und B eine verdünnte Luft, denn der Raum zwischen dem Kolben und dem Wasser hat sich bei dem gleichen Inhalte an Luft vergrößert, und die Folge davon ist, daß die außerhalb auf das Wasserniveau wirkende atmosphärische Luft das Wasser in A etwas in die Höhe treibt. Bewegt man nun den Kolben wieder nach abwärts, so fällt (Fig. 67) das Ventil c vermöge seiner eigenen Schwere zu, der Raum unter b verringert sich, und dadurch wird die darin enthaltene Luft so comprimirt, daß sie das Ventil in b aufsprengt und durch dasselbe zum Theile entweicht. Wird der Kolben b wieder aufwärts getrieben, so wiederholt sich das Spiel Fig. 66, das Wasser steigt noch weiter in die Höhe, nach und nach verdrängt es die Luft vollständig und bewegt die Ventile ebenso wie es vorher die Luft gethan. Selbstverständlich steigt es nun immer höher über den Kolben und fließt endlich durch die Ausflußröhre e ab. Das Resultat der Arbeit ist sohin ein Emporheben des Wassers.

Man nennt diese Art von Pumpen Saugpumpen; wenn sie vollkommen luftdicht schließen, so kann das Ventil b bis nahezu 32 Fuß über das Niveau des Wassers gebracht werden. Ueberschreitet man diese Gränze, so reicht der äußere Luftdruck nicht mehr hin, die Wassersäule höher zu treiben, und man ist in dem Falle, in dem sich wie oben erwähnt, die Florentiner Gärtner befanden, und der zur Begründung der Lehre vom Luftdrucke Veranlassung gab. In den meisten Fällen darf man wegen mangelhaften Verschlusses das Ventil nicht über 20 Fuß höher als das Niveau des Wassers anbringen.

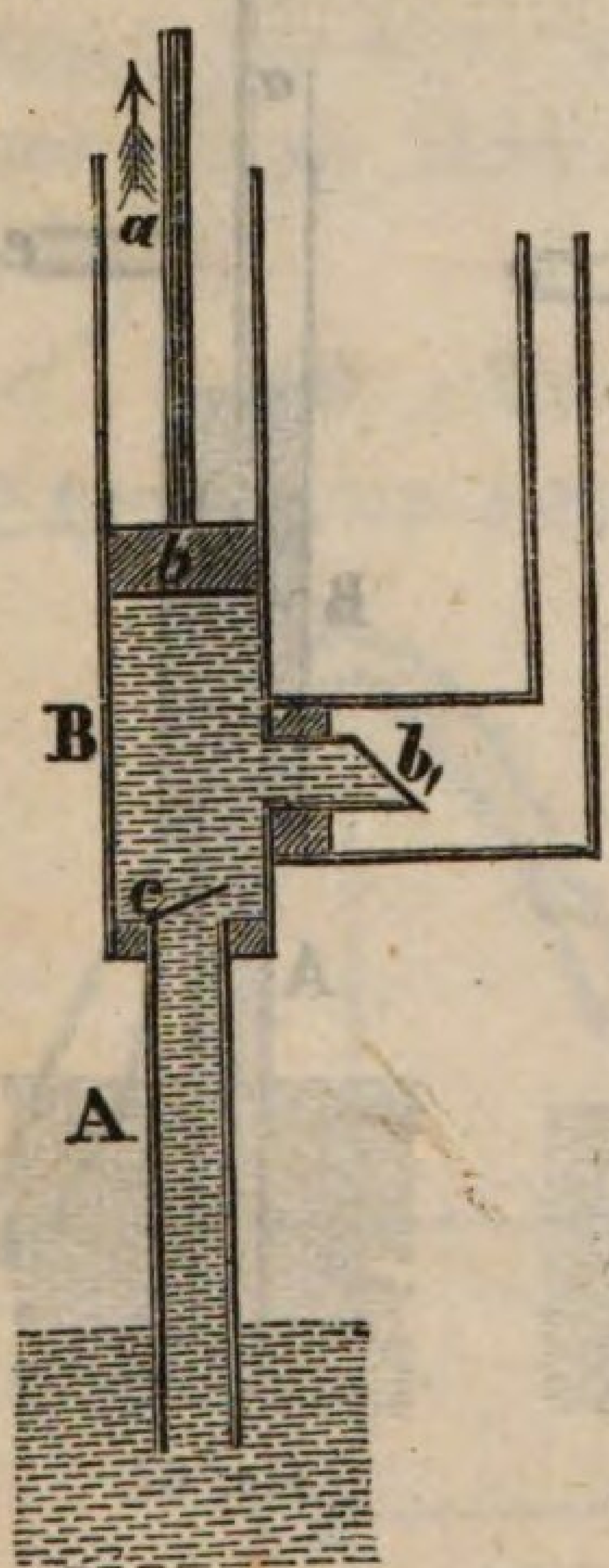


Fig. 68.

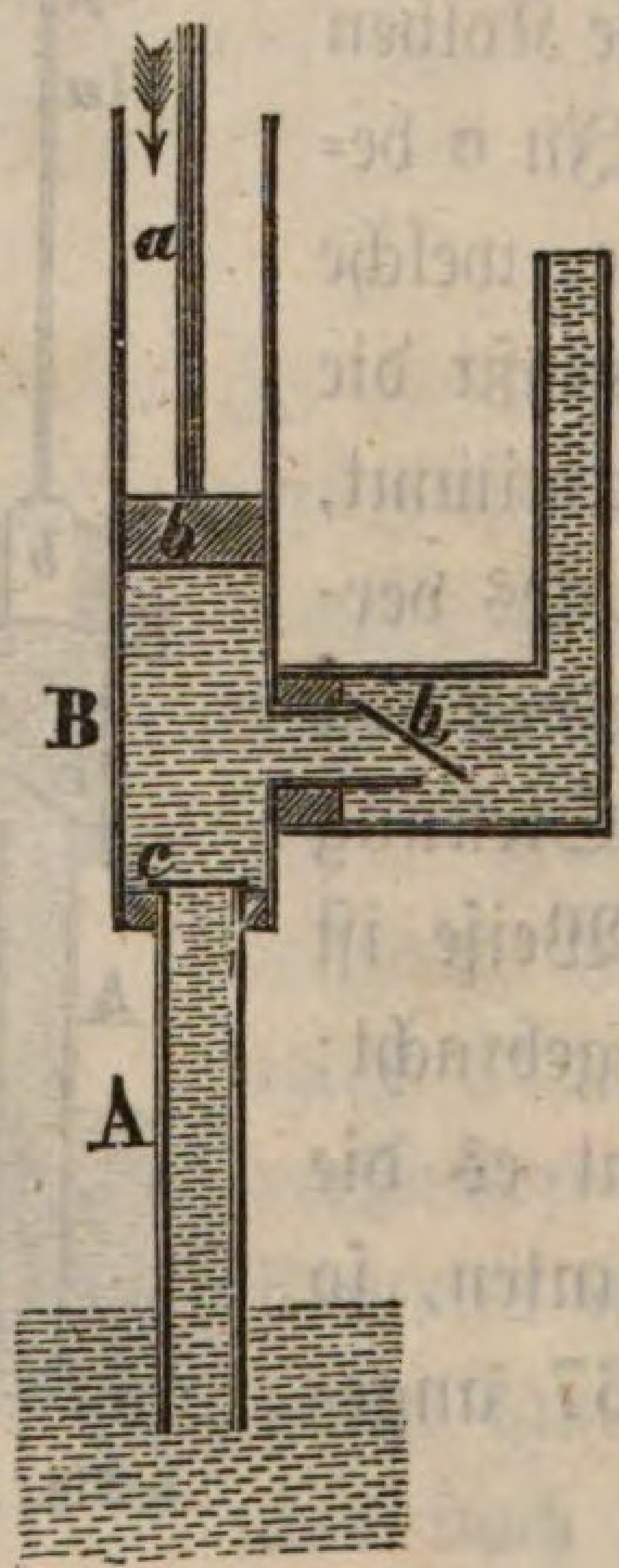


Fig. 69.

Bei den sogenannten Druckpumpen (Fig. 68 u. 69) befindet sich das Ventil nicht im Kolben, sondern außerhalb desselben. Zieht man den Kolben b in die Höhe, so öffnet sich c und schließt sich b_1 (Fig. 68), macht der Kolben die umgekehrte Bewegung, so schließt sich c und öffnet sich b_1 (Fig. 69).

Ein ähnliches Spiel von Ventilen findet bei der hydraulischen Presse (Fig. 48) statt, wenn es sich darum handelt, das Wasser aus D nach C zu führen. Ein Ventil b_1 läßt das Wasser nach C, aber verhindert das Zurücktreten, ein Ventil c ist an einer beliebigen Stelle von D angebracht.

§. 62. Hat man eine Glasflasche (Fig. 70), welche zum Theile mit Wasser gefüllt ist, und wird diese vermittelst eines durchbohrten Korkes, in welchem eine unten und oben offene Glasröhre steckt, fest verschlossen, so kann man durch die Oeffnung a in dieselbe hineinblasen. Die eingeblasene Luft wird bei b eindringen, und da sie leichter ist als das Wasser, muß sie sich in dem obern Theile der Flasche ansammeln. Durch die so bewerkstelligte Vermehrung der in dem gleichen Raum eingeschlossenen Luft wird eine Compression derselben erzielt, die sich alsbald durch das verstärkte Bestreben derselben, sich auszudehnen, kennbar macht, was man sehr leicht daran bemerkt, daß das fernere Einblasen mit immer größerer Schwierigkeit verbunden ist. Entfernt man nun den Mund und überläßt die Flasche sich selbst, so sucht die comprimirte Luft sich mit der äußeren wieder in's Gleichgewicht zu setzen, sie dehnt sich daher aus, und durch ihren Druck veranlaßt springt das Wasser durch die Oeffnung a so lange mehr oder weniger hoch heraus, bis das Gleichgewicht innen und außen wieder hergestellt ist. Man nennt diesen Apparat den Heronsbrunnen und bedient sich seiner als Spritzflasche in den chemischen Laboratorien, wenn man auf beliebige Stellen einen Wasserstrahl einwirken lassen will.



Fig. 70.

Hätte man durch eine zweite Oeffnung in kurzer Zeit statt der Luft mehr Wasser in die Flasche eingepreßt, als gleichzeitig durch die Oeffnung a entweichen kann, so würde man dadurch die in der Flasche befindliche Luft momentan comprimiren und diese wird, indem sie ihr voriges Volumen wieder einzunehmen sucht, das Wasser in einem Strahle zur Oeffnung a hinausdrücken. Kommt, bis dieses zu Ende gediehen, ein neuer Nachschub von Wasser, so wird auch der Strahl fortdauern. Auf diese Weise gelingt es, den stoßweisen Zufluß von Wasser in einen constanten Strahl umzuwandeln.

Durch Vereinigung dieses Principes mit dem der Druckpumpe entsteht die Feuerspritze. Hier wird das Wasser nicht unmittelbar in den Spritzenschlauch und aus diesem in das Feuer geleitet, sondern gelangt zuerst in den dem Heronsbrunnen analog construirten Windkessel, der freilich aus dauerhafterem Material construirt sein muß als aus Glas.

§. 63. Wie man vermittelst der Pumpe das Wasser aus irgend einem Orte entfernen kann, so gelingt es auch mit ihrer Hülfe einen Ort wenn auch nicht ganz luftleer zu machen, so doch die in ihm enthaltene Luft zu einem hohen Grade der Verdünnung zu bringen.

Das Reservoir, aus dem die Luft ausgepumpt werden soll, ist eine Glasglocke, der Recipient a (Fig. 71), welcher möglichst sorgfältig auf den Metallteller b aufgeschliffen ist. Durch die Röhre c communicirt der Recipient mit dem Stiefel, d. h. dem Cylinder d, in welchem sich der Kolben befindet, in e und f sind Ventile. Zieht man mit Hülfe der Stange g den Kolben, den wir als ursprünglich am untersten Theile des Stiefels befindlich annehmen wollen, in die Höhe, so würde bei der Abwesenheit der Ventile in dem Stiefel ein luftleerer Raum entstehen. Sind die Ventile e und f vorhanden, so sucht die Luft beiderseits in den leeren Raum einzudringen, allein die auf f wirkende drückt das Ventil nur fester an, und versperrt sich also selbst den Weg, während das Ventil e sich öffnet, und nach dem ersten Kolbenzuge hat sich die ursprünglich im Recipienten und in der Röhre c befindliche Luft auch über den Raum im Stiefel ausgebreitet. Sie ist nun, weil sie bei gleicher Masse einen größeren Raum einnimmt, verdünnt und zwar um so mehr, je größer der Raum des Stiefels im Vergleiche zu dem des Recipienten ist. Wird der Kolben wieder abwärts geführt, wie dieses in dem Schema (Fig. 71) angedeutet ist, so schließt sich das Ventil e, während die in dem Stiefel befindliche Luft nach und nach so comprimirt wird, daß sie f aufdrückt und entweicht. Bei dem zweiten Aufziehen des Kolbens erfolgt eine weitere Verdünnung der Luft, u. s. w.

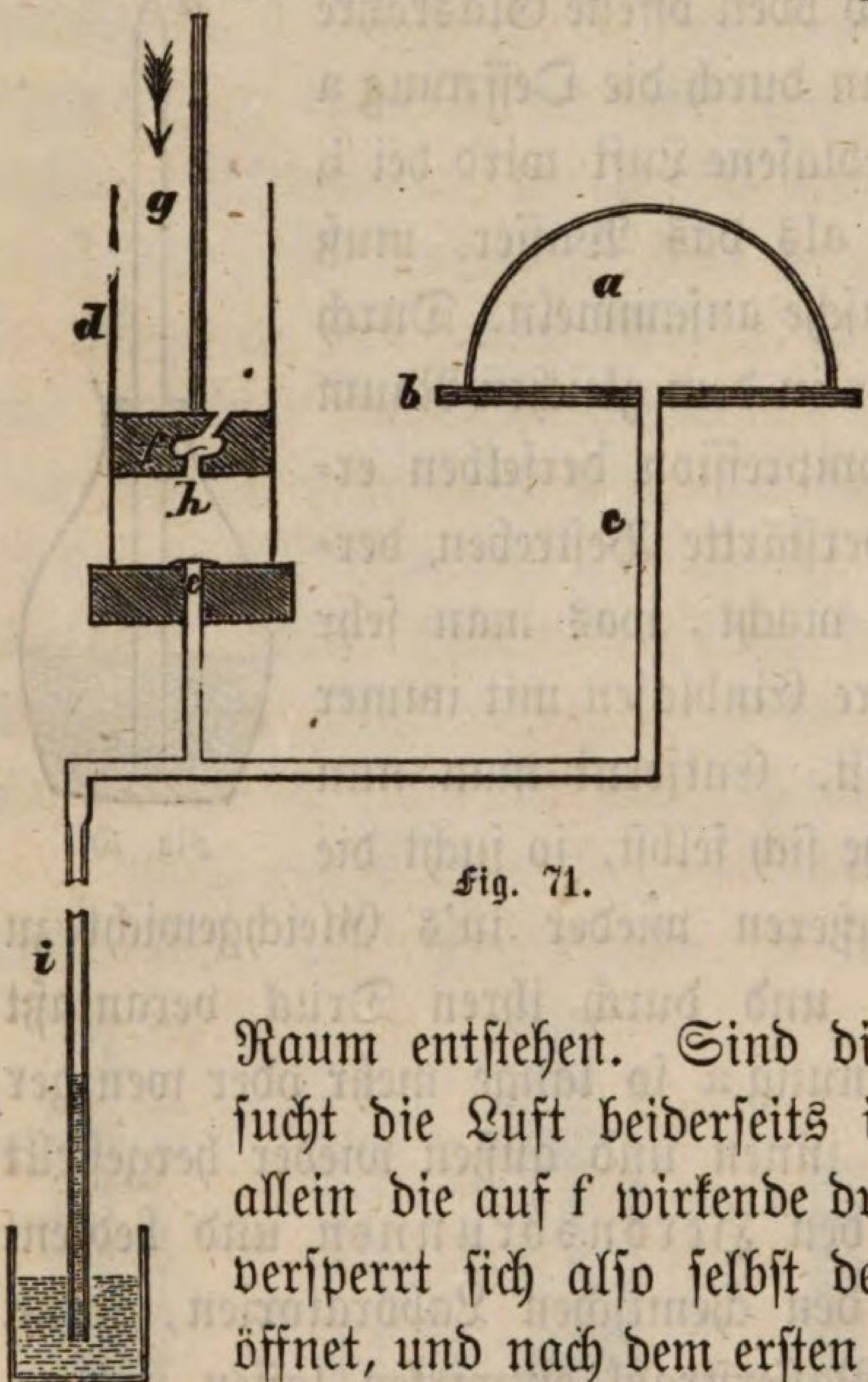


Fig. 71.

Die nach dem Schema Fig. 71 gebauten sogenannten Ventilluftpumpen haben den Nachtheil, daß man endlich zu einem Grade der Luftverdünnung kommt, bei welchem das Bestreben der in dem Recipienten befindlichen Luft, sich auszudehnen, zu gering ist, als daß es hinreichen würde, bei dem Aufziehen des Kolbens das Ventil e zu heben. In diesem Falle kann natürlich von weiterer Verdünnung nicht mehr die Rede sein.

Man hat außer den Ventilluftpumpen auch Hahnenluftpumpen. Bei diesen ist der Kolben massiv, und ein doppeltgebohrter Hahn ist unmittelbar unter dem Stiefel in der zum Recipienten führenden Röhre c (Fig. 72) angebracht. Geht der Kolben, wie dieses in der Figur dargestellt ist, abwärts, so hat der Hahn die angegebene Stellung und die Luft geht durch a nach außen, ist dagegen der Kolben unten angelangt, so macht der Hahn eine Viertelдrehung und h, welches das Ende einer senkrecht auf der Drehungsaxe des Hahns geführten Bohrung ist, kommt nach b, so daß jetzt die Verbindung mit der nach dem Recipienten führenden Röhre c hergestellt ist.

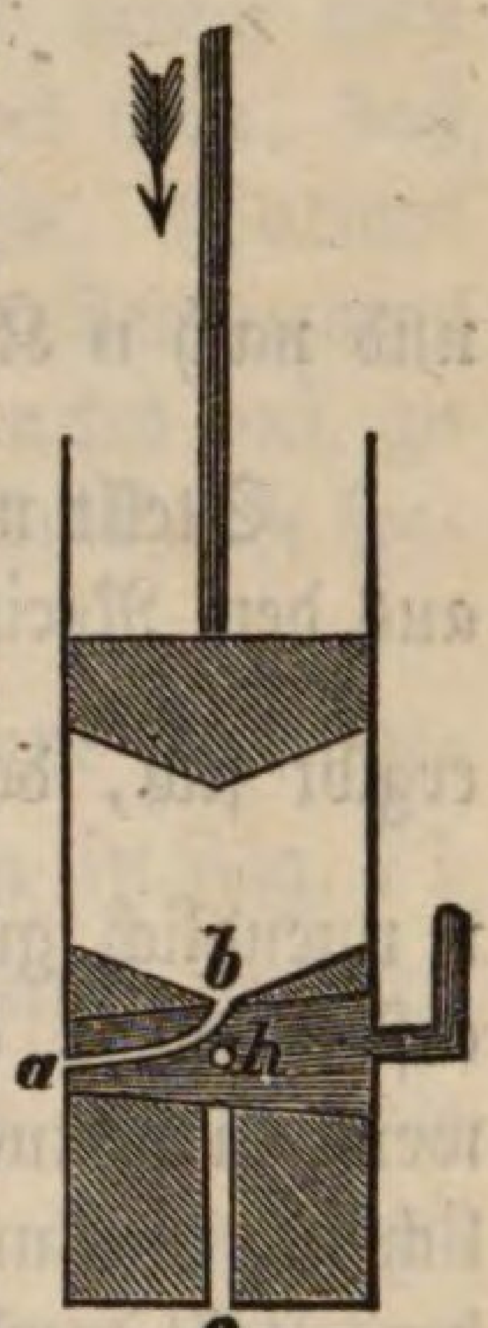


Fig. 72.

Verbindet man (Fig. 71) die zum Recipienten führende Röhre c mit einem in Quecksilber tauchenden Glasrohre i, so wird sowie in diesem der Luftdruck abnimmt, das Quecksilber in die Höhe steigen, und in dem idealen Falle, daß man die Luft vollständig auspumpen könnte, würde es die Höhe des Barometerstandes erreichen. Bequemer als diese Vorrichtung ist die sogenannte Barometerprobe, ein Heberbarometer von dem vierten Theile der gewöhnlichen Länge, das entweder unter den Recipienten gestellt wird, oder sich in einem eigenen kleineren Recipienten befindet. Man bestimmt den Luftdruck des Recipienten aus der Differenz der Höhe des Quecksilbers in den beiden Schenkeln der Barometerröhre. Wegen der Kürze dieses Barometers kann man natürlich den Luftdruck nur dann messen, wenn er weniger als ein Viertheil des gewöhnlichen beträgt.

Die Veränderung, welche durch eine bestimmte Zahl von Kolbenzügen erlangt worden ist, läßt sich leicht berechnen. Bezeichnet man nämlich das Volumen der im Recipienten und in der Röhre c eingeschlossenen Luft mit A, ihre ursprüngliche Dichtigkeit mit d und den Raum des Stiefels nach Abzug des Kolbens mit B, so wird sich nach dem ersten Kolbenzuge die Dichtigkeit x_1 zu der ursprünglichen d verhalten, wie der ursprünglich eingenommene Raum A zu dem neuen A + B und es ergibt sich hieraus

$$x_1 : d = A : (A + B)$$

$$x_1 = \frac{dA}{A + B}.$$

Nach dem zweiten Kolbenzuge hat man denselben Vorgang, aber man hat statt d die aus dem ersten Kolbenzuge resultirende Dichtigkeit der Luft zu nehmen, also $x_2 : x_1 = A : (A + B)$

$$x_2 : \frac{dA}{A + B} = A : (A + B)$$

$$x_2 = \frac{dA^2}{(A + B)^2},$$

und nach n Kolbenzügen hat man $x_n = \frac{dA^n}{(A + B)^n}$.

Stellt man die Frage, nach wie vielen Kolbenzügen die Luft vollständig aus dem Recipienten entfernt sei, so daß also ihre Dichtigkeit = 0 wird, so ergibt sich, daß der Bruch $\frac{dA^n}{(A + B)^n}$ erst dann diesen Werth erhält, wenn n unendlich groß ist, d. h. es würde die Dichtigkeit der Luft im Recipienten erst dann = 0, erst dann wäre ein vollkommen luftleerer Raum vorhanden, wenn man unendlich viele Kolbenzüge gemacht hätte; da dieses aber unmöglich ist, so kann durch die Luftpumpe niemals ein vollkommen luftleerer Raum hergestellt werden. Es sind übrigens noch andere Umstände vorhanden, welche die Erzielung absolut leeren Raumes verhindern; es gelingt nämlich dem besten Mechaniker nicht, eine Luftpumpe herzustellen, in welcher vollkommen luftdichter Verschluß stattfindet, und außerdem befindet sich in jeder Luftpumpe noch der sogenannte schädliche Raum. Betrachtet man nämlich das vorstehende Schema (Fig. 71), so wird man leicht sehen, daß in dem Kolben unterhalb des Ventils f sich ein cylindrischer Raum h befindet, der wenn f geöffnet ist, mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht, also Luft von der Dichtigkeit d enthält. Zieht man nun den Kolben wieder in die Höhe, so schließt sich f und die dadurch von außen abgesperrte Luft der kleinen Röhre verbreitet sich, da nun e offen steht, in dem Stiefel und dem Recipienten. Selbst wenn man unendlich oft pumpen und wenn die Luftpumpe vollkommen luftdicht schließen würde, wäre man niemals im Stande eine Luft zu erhalten, deren Dichtigkeitsverhältniß zu der äußern geringer wäre, als das Volumen des schädlichen Raumes zu dem Volumen des Stiefels und des Recipienten. Durch einen vorspringenden Dorn u. dgl. kann zwar der schädliche Raum sehr verringert doch nicht ganz vermieden werden.

Der am längsten bekannte unter sämmtlichen mit der Luftpumpe angestellten Versuchen ist der der Magdeburger Halbkugeln, welchen der Erfinder der Pumpe, Otto v. Guericke, Bürgermeister von Magdeburg 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg vor dem Kaiser und den Ständen machte. Er pumpte die Luft aus einer Hohlkugel von Metall, deren Hälften einfach auf einander gesetzt waren. Vor dem Evacuiren ließen sich beide Halbkugeln leicht von einander trennen, nachher aber vermochten 24 Pferde nicht, dieses

zu vollbringen. Die Halbkugeln hatten ungefähr eine Elle im Durchmesser, und nachdem sie luftleer gemacht waren, preßte sie die äußere Luft mit einer Kraft zusammen, welche dem Gewichte einer Quecksilbersäule von der Größe des größten Kugelschnittes und (wegen der nicht vollständigen Evacuirung zwar nicht ganz aber doch nahezu) von der Höhe des Barometerstandes gleichkam.

Eine nur zum Theile mit Luft gefüllte Schweinsblase dehnt sich unter dem Recipienten der Luftpumpe so aus, daß sie auf's Aeußerste gespannt ist. Eine unter Quecksilber befindliche ganz gesunde Welschnuß gibt bei der Evacuirung einen großen Theil der in ihr enthaltenen Luft ab, und bringt man sie wieder unter den gewöhnlichen Atmosphärendruck, so findet man, daß dieser das Quecksilber in das Innere der Nuß hineingepreßt hat. Warmes Wasser kann man mit Hülfe der Luftpumpe ohne Erhöhung der Temperatur zum Kochen bringen. Der Heber hört bei Abnahme des Luftdruckes auf, zu fließen. Im luftverdünnten Raume fallen alle Körper gleich schnell, ihr specifisches Gewicht möge sein, welches es wolle.

§. 64. Wenn die Ventile oder Hahnen der Luftpumpe so angebracht werden, daß ihr Spiel das entgegengesetzte von dem in Fig. 71 und 72 gezeigten ist, so erhält man nicht eine Verdünnung, sondern eine Verdichtung der Luft, und der Apparat heißt dann **Compressionspumpe**. Bei dieser genügt es natürlich nicht, den Recipienten auf den Teller einfach aufzusetzen; derselbe muß wohl befestigt und aus starkem Glase sein.

Eine Anwendung findet die Compressionspumpe in der Windbüchse, bei welcher der aus Schmiedeeisen bestehende Recipient sich in dem Gewehrkolben befindet.

§. 65. Wird eine leichte Glaskugel evacuirt und dann gewogen, hierauf der Reihe nach mit verschiedenen Luftarten gefüllt, so findet man nicht nur, daß letztere ein Gewicht überhaupt haben, was sich für die atmosphärische Luft schon aus deren Druck ableiten läßt, sondern auch, daß das specifische Gewicht der einzelnen Gasarten ein verschiedenes ist. Bei den festen und flüssigen Körpern nimmt man nach §. 30 das Wasser als Einheit des specifischen Gewichtes, bei den Gasen die atmosphärische Luft. Bei den ersteren muß auf die Temperatur Rücksicht genommen werden, bei den Gasen außerdem noch auf den Barometerstand. Bei 336‴ Barometerstand und 0° Temperatur hat die atmosphärische Luft $\frac{1}{770}$ von dem Gewichte eines gleichen Volumens Wasser und das specifische Gewicht = 1.00.

Tabelle des specifischen Gewichtes einiger Gase.

Atmosphärische Luft	1.00	Ammoniakgas	0.59	Schwerer Kohlenwasserstoff	0.97
Sauerstoffgas	1.10	Chlorwasserstoff	1.25	Leichter „ „	0.56
Stickstoffgas	0.97	Kohlensäure	1.52	Schwefelwasserstoff	1.19
Wasserstoffgas	0.07	Kohlenoxydgas	0.97	Chlor	2.47

§. 66. Da die atmosphärische Luft flüssig und schwer ist, so muß bei allen Körpern, die sich in ihr befinden, das Archimedische Princip gelten, daß sie an ihrem Gewichte so viel verlieren, als die Luft wiegt, welche sie verdrängen. Ist ein Körper nun specifisch leichter als die atmosphärische Luft, so muß ein dem Schwimmen analoger Vorgang erfolgen, der Körper geht (wir befinden uns auf dem Boden des Luftmeeres) in die Höhe. Unter den festen und tropfbarflüssigen Körpern gibt es keinen, der auch nur annähernd mit den Gasen vergleichbar wäre, sie sind sammt und sonders mehrere hundertmal dichter; aber wie eine metallene Hohlkugel mit der von ihr eingeschlossenen Luft eine Combination gibt, die leichter ist als Wasser und daher auf diesem schwimmt, so kann man auch feste Körper als Hülle von Gasarten benützen und so einen Körper, einen Luftballon oder Aërostaten bekommen, der specifisch leichter ist als die atmosphärische Luft.

Man benützt als Hüllen möglichst leichten aber luftdichten Zeug, meistens mit Firniß getränkten Taffet; als Füllmaterial diente in den ersten Aërostaten erhitzte Luft, deren Dichtigkeit etwa $\frac{2}{3}$ der kalten beträgt, dann Wasserstoffgas, dessen spec. Gewicht (im reinen Zustande) $\frac{1}{14}$ des Gewichtes der atmosphärischen Luft ist und in neuerer Zeit nimmt man an Orten, wo Gasbeleuchtung eingeführt ist, Steinkohlengas von der ungefähren Dichtigkeit 0.6.

Den ersten Luftballon ließen 1782 die Gebrüder Montgolfier zu Anonay steigen. Dieser Ballon war mit erhitzter Luft gefüllt. Charles in Paris verwendete 1783 zuerst das Wasserstoffgas. Nach Beiden werden die 2 verschiedenen Arten von Luftballonen genannt; die mit erhitzter Luft gefüllten heißen Montgolfièren, die mit Wasserstoff gefüllten heißen Charlièren. Pilatre de Rozier war (1783) der erste, welcher sich mit einem Ballon in die Luft erhob; er verunglückte bei einer späteren Fahrt. Im Jahre 1804 stieg Gay-Lussac in Paris bis zur Höhe von 7000 Metern.

Hat man einen kugelförmigen Ballon, dessen Halbmesser in Fußen ausgedrückt r ist, so wird dessen Volumen durch den Ausdruck $\frac{4}{3}r^3\pi$ dargestellt, und wenn a das Gewicht eines Cubikfußes Luft und b das Gewicht eines Cubikfußes Balloninhaltes bezeichnet, so gibt $\frac{4}{3}r^3\pi(a-b)$ die Kraft, mit welcher das Gas für sich steigen wird; da es aber noch die Hülle mittragen muß, so ist deren Gewicht abzuziehen. Ist das Gewicht eines Quadratfußes der Hülle c, so ist ihr Gewicht für die ganze Kugelhülle $4\,r^2\pi\,.\,c$ und es bleibt als Steigkraft

$$\tfrac{4}{3}r^3\pi(a-b) - 4\,r^2\pi\,.\,c.$$

Man sieht sehr leicht, daß der Werth des vorstehenden Ausdruckes ein höherer wird, wenn $a-b$ groß (also b klein) ist. Der Ballon steigt besser, wenn man ein leichteres Gas nimmt. Der Ausdruck $\frac{4}{3}r^3\pi(a-b)$ wächst wie

die dritte Potenz des Radius, das Gewicht der Hülle wie die zweite, und die Differenz beider also die Steigkraft wird um so größer, je mehr der Radius wächst.

Die Dynamik
oder die Lehre von der Bewegung der Körper.

§. 67. Wenn die auf einen Körper wirkenden Kräfte sich nicht gegenseitig neutralisiren oder ihre Resultirende nicht durch einen Widerstand aufgehoben wird, so wird der Körper dem auf ihn ausgeübten Einflusse gehorchend sich bewegen und die Untersuchung der Art dieser Bewegung ist die Aufgabe der Dynamik, welche analog der Statik je nach dem Aggregatzustand des bewegten Körpers sich in die Geodynamik, Hydrodynamik oder Hydraulik und die Aërodynamik oder in die Lehre von der Bewegung der festen, der tropfbarflüssigen und der elastischflüssigen Körper theilt.

Die Geodynamik
oder die Lehre von der Bewegung der festen Körper.

§. 68. Ist ein Körper in Bewegung, so wird er in verschiedenen Zeiten andere und andere Puncte im Raume einnehmen. Liegen die so berühiten Puncte in einer Geraden, so ist die Bewegung eine geradlinige, liegen sie in einer Curve, so wird die Bewegung eine krummlinige. Aus der gegenseitigen Entfernung der Puncte, die ein Körper in den verschiedenen auf einander folgenden Momenten einnimmt, ergibt sich seine Geschwindigkeit. Ist die Geschwindigkeit des Körpers in jedem Augenblicke dieselbe, so ist die Bewegung eine gleichförmige, wo nicht, eine ungleichförmige. Letztere Bewegung kann eine beschleunigte oder eine verzögerte sein und die Aenderung in der Geschwindigkeit ist wieder entweder gleichförmig oder ungleichförmig. Durch Combination dieser Modalitäten entstehen die verschiedenen Bewegungen, die wir in der Körperwelt wahrnehmen.

§. 69. Die geradlinige gleichförmige Bewegung ist unter allen jedenfalls die einfachste. Der Körper legt in jeder Zeiteinheit einen gleich großen Raum zurück und in der halben halb so viel als in der ganzen.

Bezeichnet v die Größe des in der Zeiteinheit zurückgelegten Weges, t die Zahl der Zeiteinheiten, die seit dem Beginne der Bewegung verflossen sind, und s den zurückgelegten Weg, so ist

$$s = vt.$$

Ein Beispiel dieser Bewegung bietet ein Wanderer, der auf einem geraden Wege mit stets gleicher Geschwindigkeit fortgeht.

§. 70. Wenn ein ursprünglich frei schwebender oder ein seiner Stütze beraubter Körper der Einwirkung der Schwere überlassen wird, so bringt ihm diese eine Bewegung bei, vermöge deren er sich dem Mittelpuncte der Erde zu nähern sucht. Würde die Schwere nur einen Augenblick wirken, so bekäme der Körper dadurch eine gewisse Geschwindigkeit und nach dem Satze der Trägheit würde er bei Ausschluß aller weiteren Einflüsse mit der ihm mitgetheilten Geschwindigkeit seinen Weg in gerader Richtung fortsetzen, er hätte die gleichförmige geradlinige Bewegung. In der Natur kann dieser einfachste Fall nicht eintreten, denn hat die Schwere dem Körper im ersten Augenblicke eine Bewegung ertheilt, so hört sie nach Verfluß dieses Augenblickes nicht auf, sondern es wiederholt sich die Erscheinung im zweiten Augenblicke, der Körper hat also jetzt die Geschwindigkeit 2, im dritten bekommt er die Geschwindigkeit 3 u. s. w. Je länger der Fall dauert, um so größer wird die Geschwindigkeit, die Zunahme der letztern ist in allen Zeiten gleich und wir haben eine gleichförmig beschleunigte Bewegung.

Die Gesetze, denen ein fallender Körper gehorcht, sind folgende:

1) Die Geschwindigkeit, die der Körper während des Fallens bekommt ist proportional der Zeit, die seit dem Beginne der Bewegung verflossen ist.
2) Die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.
3) Die jeweiligen Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln der zurückgelegten Fallräume.
4) Die in den einzelnen nach einander folgenden Zeiten verhalten sich wie die Zahlen 1, 3, 5, 7 ....

Wenn v die Geschwindigkeit bezeichnet, die der Körper nach t Zeiteinheiten, etwa Secunden erlangt hat, und g die Geschwindigkeit vorstellt, die er am Ende der ersten Secunde bekommen hatte, so ist

$$v = gt \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Die Geschwindigkeit ist also der Fallzeit proportional.

Hätte der Körper am Anfange der ersten Secunde die Geschwindigkeit 0, war er also ursprünglich in Ruhe, und bekommt er bis zum Ende der Secunde bei fortwährend gleichmäßiger Beschleunigung seiner Bewegung die Geschwindigkeit g, so ist der Raum, den er bis zum Ende der Secunde zurückgelegt hat, eben so groß, als hätte er gleichförmig fortgehend sich mit der Durchschnittsgeschwindigkeit bewegt. Diese Durchschnittsgeschwindigkeit kann aber keine andere sein als die, welche er in der Mitte der Secunde hatte, denn was er zuerst zu langsam ging, ist er später schneller gefallen, und der nach Verfluß einer Secunde zurückgelegte Raum ist daher auszudrücken durch

$$s = \frac{g}{2},$$

wenn s den zurückgelegten Raum bedeutet. Dauert die Bewegung 2 Secunden, so ist die am Ende der zweiten Secunde erlangte Geschwindigkeit 2 g und die durchschnittliche Geschwindigkeit ist so groß, als sie in der Mitte dieser 2 Secunden also am Ende der ersten war, folglich g oder $\frac{2g}{2}$. Mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit $\frac{2g}{2}$ ist der Körper 2 Secunden lang gefallen und der zurückgelegte Weg läßt sich ausdrücken durch

$$s = 2 \,.\, 2 \,.\, \frac{g}{2}.$$

Am Ende der dritten Secunde ist die erlangte Geschwindigkeit 3 g, die durchschnittliche Geschwindigkeit $\frac{3g}{2}$, und da die Bewegung 3 Secunden hindurch fortgedauert hat, ist der Fallraum

$$s = 3 \,.\, 3 \,.\, \frac{g}{2}.$$

So geht es weiter, und man sieht leicht, daß nach Verfluß von t Secunden der Fallraum

$$s = t \,.\, t \,.\, \frac{g}{2} = \frac{g}{2} t^2 \quad . \; . \; . \quad 2)$$

sein wird, d. h. die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Aus 2) ergibt sich auch $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad . \; . \; . \quad 2')$

Verbindet man die Gleichung 1) mit der Gleichung 2) und eliminirt t, so erhält man

$$v = \sqrt{2gs} \quad . \; . \; . \quad 2'')$$

d. h. die Geschwindigkeiten sind den Quadratwurzeln des Fallraumes proportional.

Legt der Körper in einer Secunde den Weg $\frac{g}{2}$ zurück, in zwei Secunden den Weg $2 \,.\, 2 \,.\, \frac{g}{2}$, so hat er in der zweiten den Weg $3\frac{g}{2}$ gemacht. Beträgt der Weg in drei Secunden $9\frac{g}{2}$ und werden $4\frac{g}{2}$ in den ersten beiden zurückgelegt, so bleibt für die dritte $5\frac{g}{2}$ u. s. w. Die in den einzelnen

Zeiten zurückgelegten Räume verhalten sich daher wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w.

Wenn der fallende Körper bei dem Beginne des Falles durch eine andere Ursache z. B. einen Stoß noch eine weitere constante Geschwindigkeit bekommen hat, so wird er diese vermöge der Trägheit beibehalten und noch das hinzufügen, was er durch den Fall bekommt, und wenn diese constante Geschwindigkeit durch a bezeichnet wird, so erhält man als Gesammtgeschwindigkeit $v = a + gt$ . . . 3)

und als Fallhöhe $s = at + \frac{g}{2}t^2$ . . . 4)

Da die Größe g bei dem freien Falle eines Körpers 30 Fuß beträgt, so legt letzterer in 1 Secunde 15, in 2 Secunden 60, in 3 Secunden 135 Fuß zurück; wollte man nun die oben ausgesprochenen Sätze durch das Experiment controliren, so hätte man wenn der Versuch auch nur 3 Secunden dauert, einen Thurm nöthig, und es ergibt sich hieraus die Aufgabe, die Geschwindigkeit, also die Wirkung der Schwerkraft, zu mäßigen.

Galilei, der zuerst die Fallgesetze studirte, erreichte dieses Ziel, indem er eine Kugel über eine schiefe Ebene hinabrollen ließ. Hier wird die Kugel wie im freien Falle durch eine constant wirkende Kraft getrieben, aber diese verhält sich nach §. 33 Fig. 11 zu der Schwere wie BC zu AB oder wie die Höhe der schiefen Ebene zu deren Länge. Der geringeren Kraft entspricht die

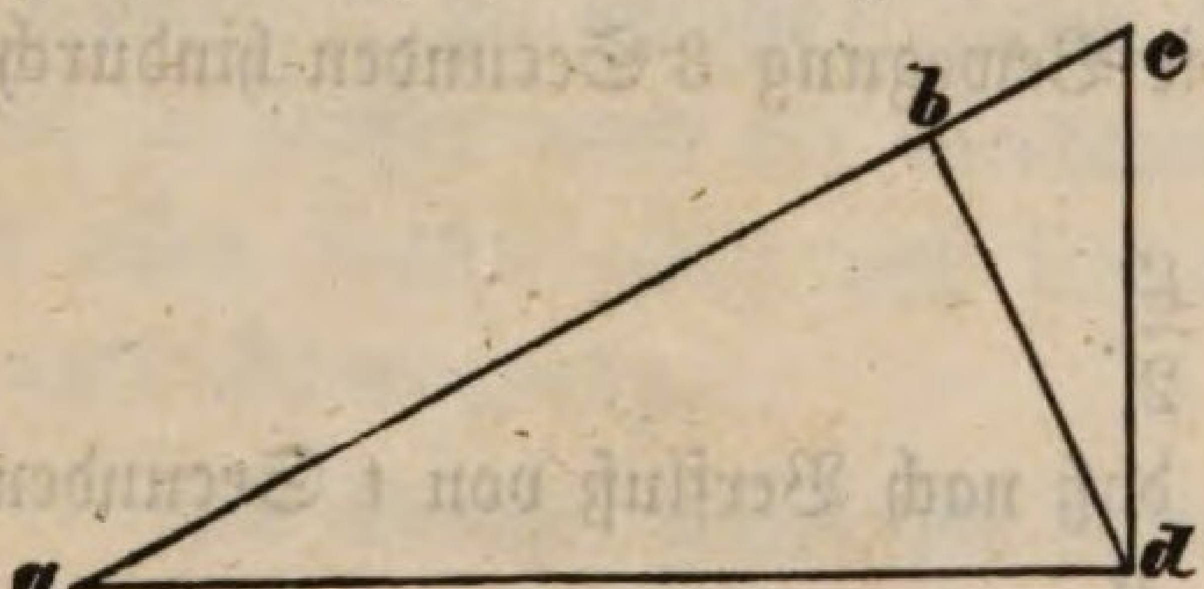


Fig. 73.

geringere Geschwindigkeit des von ihr bewegten Körpers, und dieser entspricht wieder der kleinere Weg. Zieht man (Fig. 73) von dem Puncte d eine Senkrechte bd auf die schiefe Ebene ac, so sind die Dreiecke acd und bcd ähnlich und es verhält sich

$bc : cd = cd : ac$
$= \text{Höhe} : \text{Länge der schiefen Ebene.}$

Die Kugel kommt also von c aus in derselben Zeit nach b, in welcher sie im freien Falle nach d gekommen wäre.

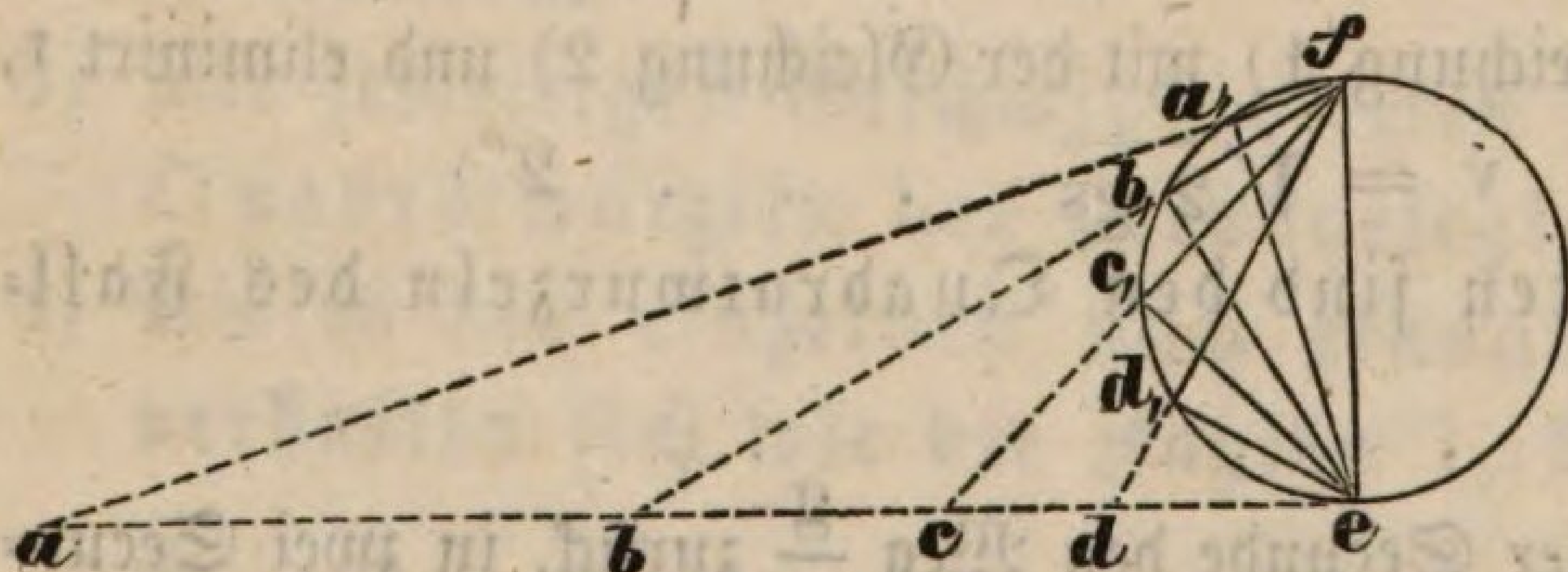


Fig. 74.

Läßt man eine Kugel über mehrere schiefe Ebenen fa, fb, fc, fd (Fig. 74) herabfallen, so braucht sie stets dieselbe Zeit, um nach a_1, b_1, c_1, d_1 zu kommen. Alle diese Puncte liegen aber in der Peripherie eines Kreises und es ergibt sich daraus, daß die Sehnen fa_1 u. s. w. in gleicher Zeit mit fe durchlaufen werden.

Auf eine andere Weise hat Atwood das Problem gelöst. Eine Schnur, an welcher die Gewichte P und Q hängen, ist um ein leicht bewegliches Rad

oder eine Rolle geschlungen. Ist P gleich Q, so wird (Fig. 31) Gleichgewicht stattfinden, dieses ist aber gestört, wenn man auf der einen Seite noch das Gewicht r anhängt. Würde r frei fallen, so würde es in der ersten Secunde 15 Fuß zurücklegen; wenn es aber mit P und Q verbunden ist, so muß es auch diesen seine Bewegung mittheilen, diese kann nun nicht mehr so groß sein, als wenn sie sich auf r allein beschränkt, und die Geschwindigkeit verhält sich zu der in letzterem Falle eintretenden wie r zu P + Q + r. Haben nun P und Q je das Gewicht 7, r das Gewicht 1, so wird die Geschwindigkeit nur $\frac{1}{15}$ von der sein, die r im freien Falle erlangen würde. Man kann auf diese Weise die Fallgeschwindigkeit durch Aenderung der Gewichte auf eine ganz beliebige Weise verringern und gewinnt somit die Möglichkeit, die Richtigkeit der Fallgesetze zu constatiren.

§. 71. Wird ein Körper durch einen Stoß vertical in die Höhe geworfen, so sollte er nach dem Principe der Trägheit mit Beibehaltung der Richtung sowohl als der Geschwindigkeit fortwährend steigen. Dieses würde auch (abgesehen von dem Luftwiderstande) geschehen, wenn man einen Körper verwenden würde, welcher der Schwere nicht unterworfen ist; da es aber einen solchen nicht gibt, so werden alle mit dem Wurfe verbundenen Erscheinungen eine Combination der Consequenzen der Trägheit und des durch die Schwere bedingten Falles des Körpers sein. Würde man demselben etwa eine Geschwindigkeit ertheilen, vermöge deren er in einer Secunde 60 Fuß zurücklegt, so würde er der Trägheit zufolge in 2, 3, 4 ... Secunden 120, 180, 240 ... Fuß gestiegen sein. Den Fallgesetzen gemäß fällt aber Körper in 1, 2, 3, 4 ... Secunden 15, 60, 135, 240 ... Fuß und was er fällt, ist von der Höhe, die er durch den Wurf allein bekommen hätte, abzuziehen. So ist er am Beginne der zweiten Secunde also am Ende der ersten in 60 — 15 d. i. in 45 Fuß Höhe angekommen, am Anfange der dritten in 120 — 60 also in 60 Fuß. Seine Bewegung wird mithin folgende sein

Anfang der Secunde	1	2	3	4	5
Gestiegen	0	60	120	180	240
Gefallen	0	15	60	135	240
Höhe	0	45	60	45	0

Der geworfene Körper steigt also zuerst, und dann fällt er wieder. Aus den den einzelnen Secunden entsprechenden Ziffern läßt sich sehr leicht entnehmen, daß die Geschwindigkeit bei dem Hinaufsteigen abnimmt, und bei dem Fallen umgekehrt gerade so wächst, wie sie vorhin kleiner geworden war. Es kommt also der Stein mit derselben Ge=

schwindigkeit wieder unten an, die er bei dem Beginne des Aufsteigens gehabt hatte; aber die Richtung seiner Bewegung ist jetzt die entgegengesetzte.

Wirft man den Körper nicht senkrecht, sondern schief in die Höhe, wirft man ihn etwa so, daß er (Fig. 75) von a aus am Ende der ersten Secunde nach b, am Ende der zweiten nach c, am Ende der dritten nach d und dann nach e käme, so wird ihn die senkrecht abwärts ziehende Schwere bis zum Ende der ersten Secunde so weit herabgeführt haben, daß er sich nicht in b, sondern in b_1 befindet, wenn die Linie bb_1 die Größe von 15 Fuß repräsentirt. Am Ende der zweiten Secunde befindet sich der Körper 4 mal 15 Fuß unter der Stelle, die er bei Ausschluß der Schwerewirkung einnehmen würd, also in c_1, am Ende der dritten Secunde ist er 9 mal 15 Fuß unter d in d_1 und am Ende der vierten Secunde ist er 16 mal 15 Fuß unter e in e_1. Den Zwischenzeiten entsprechen Zwischenstellungen, der geworfene Körper geht mithin nicht in gerader Richtung, sondern er beschreibt eine Curve, die unter dem Namen Parabel bekannt ist.

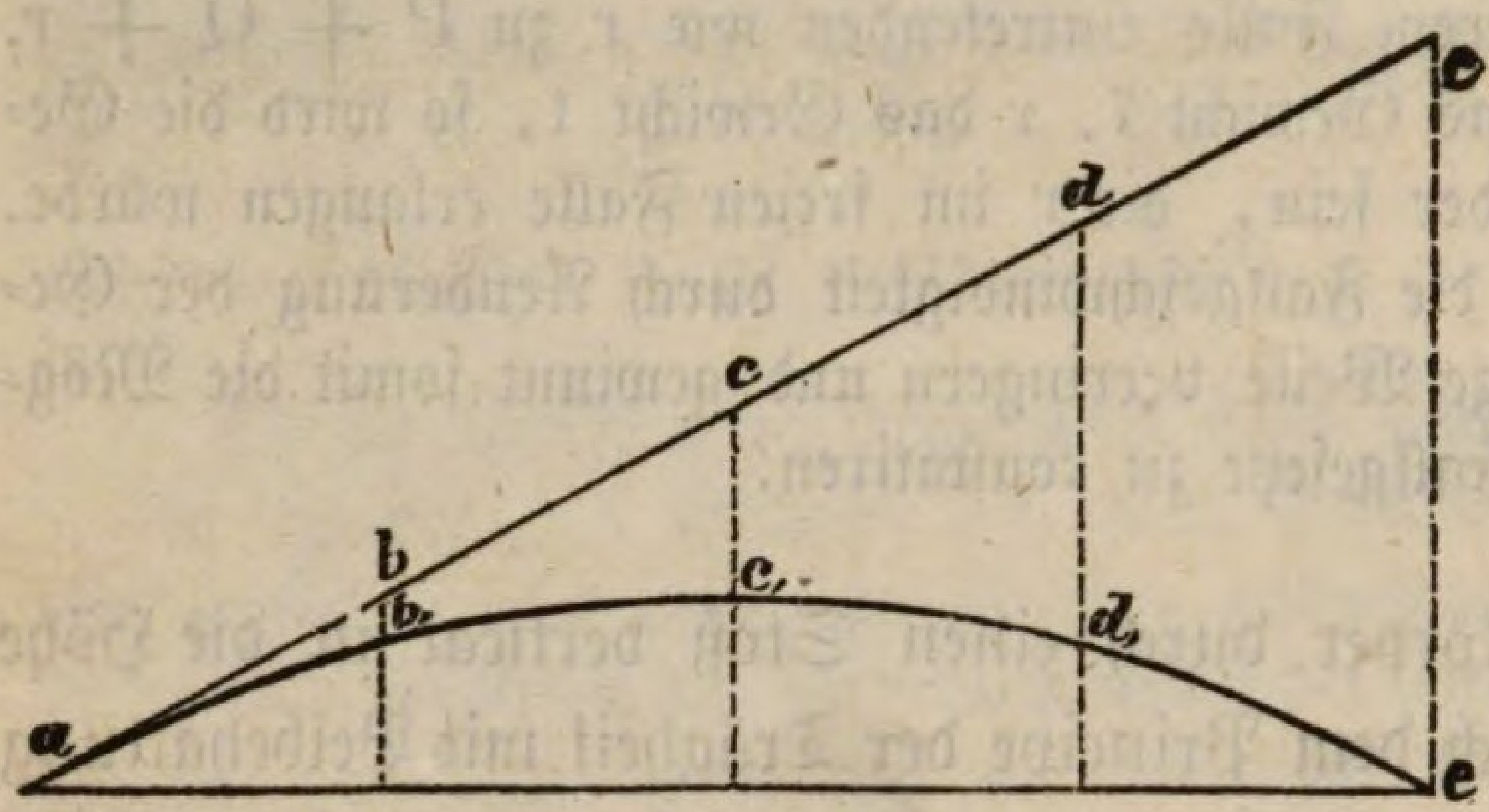


Fig. 75.

Ein allgemeines Resultat gibt die Mathematik. Benützt man nämlich die Gleichungen 3) und 4) des §. 70, so hat man dort mit einer constanten Geschwindigkeit zu thun, die dem Körper im Augenblicke, wo er dem Einflusse der Schwere ausgesetzt wurde, gegeben worden ist. Diese Geschwindigkeit ist in unserm gegenwärtigen Falle keine andere, als diejenige, welche der geworfene Körper durch den Stoß erhalten hat und der Unterschied zwischen dem gegenwärtigen Falle und dem des §. 70 ist nur der, daß jetzt die Schwere in dem dem Wurfe entgegengesetzten Sinne wirkt, denn sie zieht den Körper herab, während die durch den Wurf mitgetheilte Bewegung nach aufwärts zielt. Wir haben daher in Formel 3) und 4) das Zeichen der einen Wirkung zu wechseln und erhalten so

$$v = a - gt \quad . \quad . \quad . \quad 3')$$

$$s = at - \frac{g}{2}t^2 \quad . \quad . \quad . \quad 4')$$

Man sieht aus 3'), daß die Geschwindigkeit des Körpers immer kleiner wird, je mehr t wächst, und wenn $t = \frac{a}{g}$ wird, so wird $v = 0$, der Körper steigt nicht mehr höher. Wächst t noch mehr, so ist gt größer als a, v wird

dadurch negativ, d. i. der Körper bewegt sich wieder abwärts. Wenn der Körper aufhört zu steigen, so hat er seine größte Höhe erreicht, und man erhält diese, wenn man in 4') den Werth $\frac{a}{g}$ statt t substituirt, wodurch 4') in

$$h = \frac{a^2}{g} - \frac{ga^2}{2g^2} = \frac{a^2}{2g}$$

übergeht. Jetzt ist die durch den Wurf bedingte Bewegung nach aufwärts vollkommen aufgehoben, der Körper verhält sich also wie einer, der von der Höhe h herabfällt. Die Zeit, die er dazu nöthig hat ist (2' §. 70)

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \frac{a^2}{2g}} = \frac{a}{g}.$$

Zum Herabfallen von der Höhe h braucht also der Körper eben so viel Zeit, als er zum Aufsteigen nöthig hatte.

Suchen wir die Geschwindigkeit, die der Körper bekommt, bis er von der Höhe h wieder auf die Erde gelangt, die er hat, wenn er während der Zeit $\frac{a}{g}$ herabfällt, so ergibt sich nach 1) §. 70 $v = gt = \frac{ga}{g} = a$: die Geschwindigkeit ist also eben so groß als er sie ursprünglich bekommen hatte.

§. 72. Bei dem Wurfe ist die Richtung der stetig wirkenden Kraft, der Schwere, stets die nämliche, sie steht senkrecht auf der Ebene des Horizontes. Diese Kraft kann auch nach einem bestimmten Puncte hinweisen, und die Richtung ihrer Einwirkung auf den bewegten Körper wird daher für dessen verschiedene Stellungen nicht mehr parallel ausfallen können. Denken wir uns, einem in a (Fig. 76) befindlichen Körper werde ein einmaliger Stoß gegeben, vermöge dessen er nach Verlauf einer gegebenen Zeit nach b käme, und es wirke gleichzeitig eine Kraft auf ihn ein, die ihn, wenn der Stoß nicht wäre, nach C führen würde, so geht der Körper nach dem Satze vom Parallelogramme der Kräfte in der Richtung der Resultirenden nach d. Von d aus würde er vermöge der Trägheit seinen Weg in der zweiten Zeit nach e fortsetzen, wenn aber jetzt ein zweiter

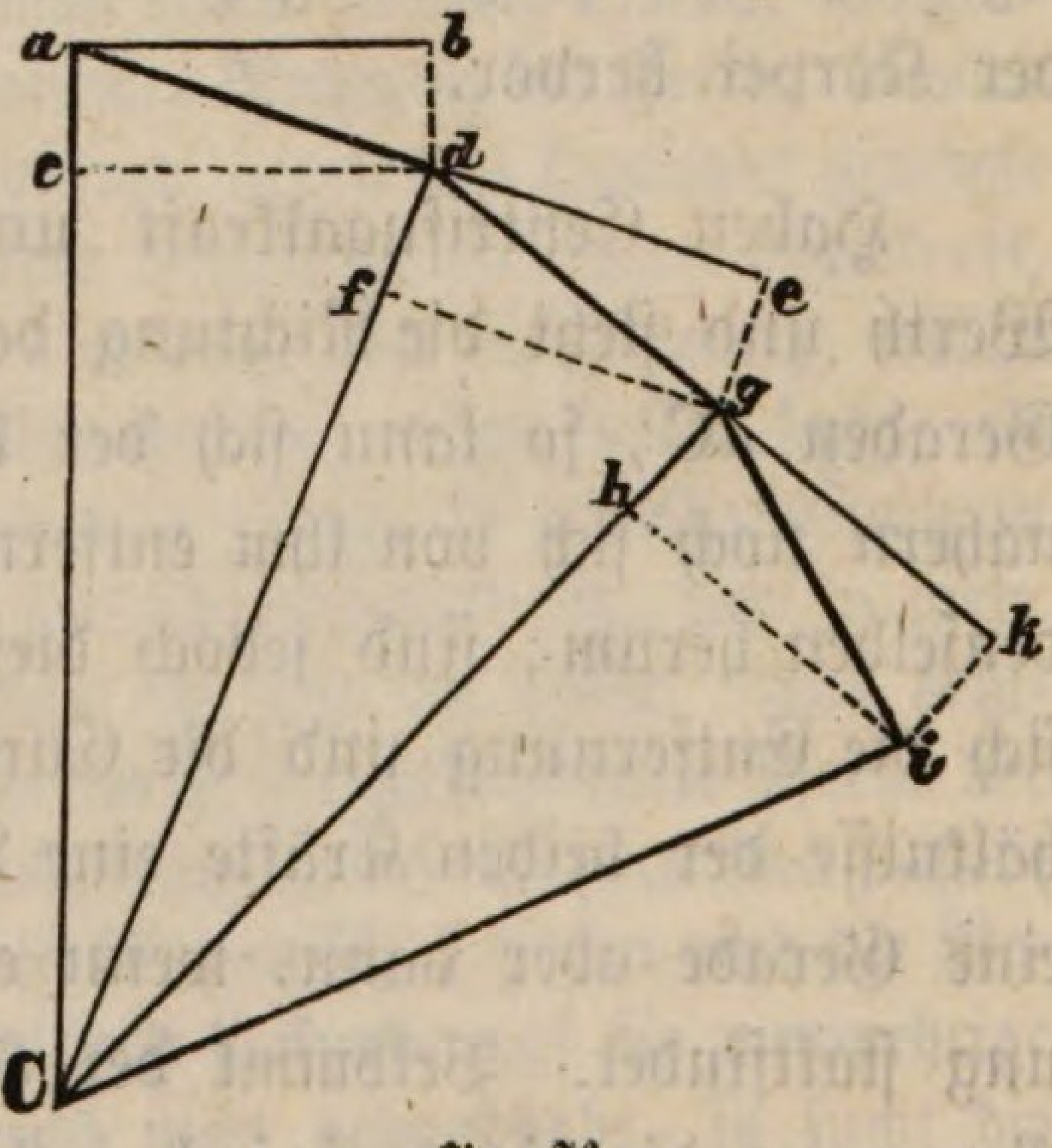


Fig. 76.

Zug gegen C, der ihn für sich nach f führen würde, erfolgt, so geht er nach g, erfolgt ein neuer Zug gegen h, so geht er nach i u. s. w.

Würden die einzelnen Anziehungen gegen C kleiner sein, aber sich öfter wiederholen, so würde die Bahn des bewegten Körpers zwar öfter gebrochen aber im Wesentlichen dieselbe bleiben und wenn die Anziehungen continuirlich fortwirken, so wird auch die Bahn continuirlich gebrochen, sie wird zu einer Curve.

Es ist zu dieser Bewegung nothwendig, daß ein einmaliger Stoß von a nach b dem Körper eine Bewegung ertheilt, während aber hier ein einmaliger Impuls genügt, kann dieses nicht von derjenigen Kraft gesagt werden, die den Körper gegen C hinzieht, denn diese muß fortwährend thätig sein. Würde der Körper von a aus immer in der Richtung ab fortgehen, so müßte er sich von C entfernen. Daß dieses nicht geschieht, dagegen hilft wohl die Wirkung ac ab, aber diese Abhülfe genügt nicht für die Dauer, denn würde der Körper stets in der Richtung dg weiter gehen, so müßte er sich auch hier wieder von C entfernen. Das Gleiche gilt für die Richtung gi und der einmalige Impuls, der den Körper von a nach b treibt, reicht vermöge der Trägheit aus, ihm ein fortwährendes Bestreben, sich von C zu entfernen mitzutheilen, dem C durch stets wiederholte Anziehungen entgegen arbeiten muß. Es ist also gerade so, als übten 2 continuirliche Kräfte ihren Einfluß auf den Körper aus, von denen die eine, die Centripetalkraft ihn fortwährend gegen C hinzieht, während die andere, die Schwung-, Tangential- oder Centrifugalkraft ihn immer von C zu entfernen sucht. Letztere ist jedoch strenge genommen keine eigene Kraft, sondern geht nur aus dem Principe von der Trägheit der Körper hervor.

Haben Centrifugalkraft und Centripetalkraft stets den gleichen Werth und steht die Richtung des einmaligen Stoßes senkrecht auf der Geraden aC, so kann sich der bewegte Körper dem Puncte C weder nähern noch sich von ihm entfernen, er bewegt sich daher im Kreise um denselben herum; sind jedoch diese Bedingungen nicht erfüllt, so ändert sich die Entfernung und die Curve wird je nach dem gegenseitigen Verhältnisse der beiden Kräfte eine Parabel, Ellipse oder Hyperbel, eine Gerade aber dann, wenn entweder kein Stoß oder keine Anziehung stattfindet. Bekommt der Körper in a keinen Stoß, so ist seine Bewegung die eines einfach fallenden Körpers (§. 70), ist keine Centripetalkraft vorhanden, so resultirt eine geradlinige gleichförmige Bewegung in der Richtung des Stoßes.

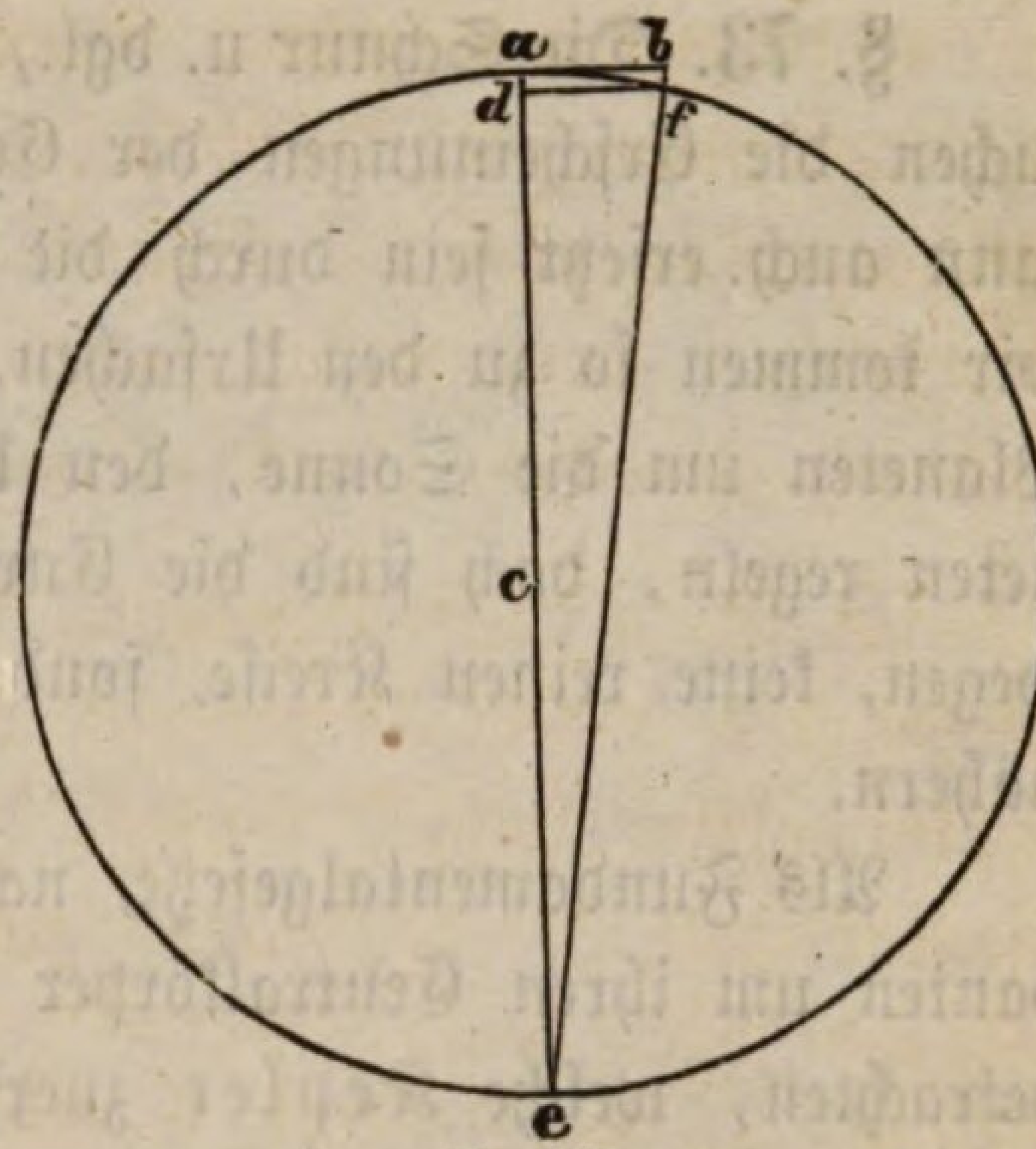


Fig. 77.

Befindet sich ein Körper in a (Fig. 77) und gibt man ihm einen Stoß, vermöge dessen er in der Zeiteinheit etwa in einer Secunde nach b gehen würde, so wäre er in b weiter von c entfernt als er in a war; dieses Plus der Entfernung wird aber aufgehoben, wenn ihn die Centripetalkraft in derselben Zeit um bf = ad hereinzieht und ihn nach f bringt. Für die Kreisbewegung entspricht also ad der Centrifugalkraft. Es besteht aber nach den Sätzen der Geometrie die Proportion ad : af = af : ae, wobei af als ein ganz kleiner Theil der Peripherie als eine Gerade angenommen ist. Aus dieser Proportion erhält man

$$ad \doteq \frac{af^2}{ae} = \frac{af^2}{2r},$$

wenn man die Gerade ae, den Durchmesser des Kreises = 2r setzt.

Bedeutet af den in der Zeiteinheit durchlaufenen Theil der Peripherie und t die Zahl der Zeiteinheiten, die der Körper braucht um den ganzen Kreis zu beschreiben, so wird $af = \frac{2\pi r}{t}$ und $ad = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$ und es ergibt sich hieraus: Die Centrifugalkraft eines sich im Kreise bewegenden Körpers ist dem Halbmesser des Kreises direct, dem Quadrate der Umlaufszeit umgekehrt proportional.

Auf der Wirkung der Centrifugalkraft beruht die Erscheinung, daß man ein Glas Wasser, welches in einem Reife steht, im Kreise herumschwingen kann, ohne daß Wasser herausläuft. Hat man einen an einer Schnur hängenden Körper und schwingt man ihn in horizontaler Richtung im Kreise, so wird die Richtung der Schnur eine mehr oder weniger gegen den Horizont geneigte sein. In diesem Falle wirken auf den Körper 2 Kräfte, die Centrifugalkraft, welcher zufolge die Schnur horizontal stehen würde, und die Schwere, welche indem sie den Körper abwärts zieht, die Schnur vertical zu stellen sucht. Je schneller die Kreisbewegung vor sich geht, um so größer ist im Verhältniß zu der sich immer gleich bleibenden Schwere die Centrifugalkraft, um so mehr wird die Schnur horizontal, d. h. der Körper geht in die Höhe. Aus demselben Grunde ist die Stellung der rasch im Kreise herumlaufenden Pferde der Kunstreiter eine schiefe, und auf den Eisenbahnen ist bei Curven das äußere Geleise etwas höher, damit die hinfahrenden Wagen schief stehen und die Resultirende der Schwere und der Centrifugalkraft senkrecht auf die nunmehrige Ebene der Bahn fällt. Wird diese Vorsicht nicht gehandhabt, so sucht die Centrifugalkraft die Wagen hinauszuschleudern und es würden sich Unglücke aus demselben Grunde ergeben, um dessentwillen Wagen, die schnell um eine Ecke herumfahren, umgeworfen werden.

§. 73. Die Schnur u. dgl., welche uns in den gewöhnlichen Versuchen die Erscheinungen der Centrifugalkraft veranschaulichen läßt, kann auch ersetzt sein durch die anziehende Kraft der Schwere, und wir kommen so zu den Ursachen, welche am Himmel den Umlauf der Planeten um die Sonne, den Umlauf der Satelliten um ihre Planeten regeln, doch sind die Curven, in denen sich diese Gestirne bewegen, keine reinen Kreise, sondern Ellipsen, die sich den Kreisen sehr nähern.

Als Fundamentalgesetze, nach welchen sich die Planeten und Trabanten um ihren Centralkörper bewegen, sind nachstehende drei zu betrachten, welche Kepler zuerst aufgestellt hat, weshalb sie auch die Kepler'schen genannt werden, und die man später als durch das Newton'sche Gravitationsgesetz bedingt erkannt hat.

1) Der Planet bewegt sich um die Sonne, der Trabant um den Planeten, indem er eine Ellipse beschreibt, in deren einem Brennpuncte sich die Sonne (bei dem Trabanten der Planet) befindet.

2) Die von demselben Körper in gleichen Zeiten beschriebenen Flächen sind sich gleich. Ist die Curve Fig. 78 die Bahn eines Planeten oder Trabanten, so sind F und F_1 die beiden Brennpuncte der Ellipse, in deren einem (etwa in F) sich dann der Centralkörper befindet. Geht der Stern in einer gegebenen Zeit t von a nach b, so nennt man die Fläche aFb die beschriebene Fläche, geht er in einer andern Zeit t_1 von c nach d, so ist die jetzt beschriebene Fläche cFd; nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze ist dann wenn aFb = cFd auch $t = t_1$ und allgemein

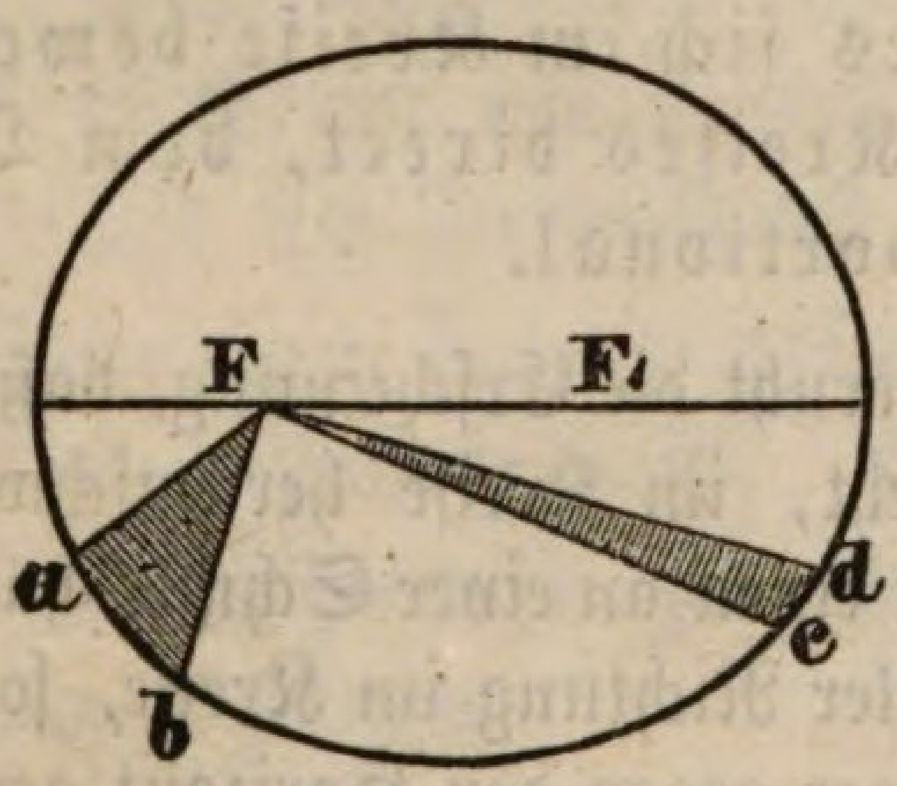


Fig. 78.

$$aFb : cFd = t : t_1.$$

Der Planet oder Trabant ist nicht immer gleich weit von seinem Centralkörper entfernt; ist er ihm näher, so läuft er schneller, ist er ferner, so läuft er langsamer.

3) Gehen 2 Sterne um denselben Centralkörper, so verhalten sich die Quadrate der Umlaufzeiten wie die dritten Potenzen der Entfernungen vom Centralkörper.

Das erste dieser 3 Gesetze läßt sich nur mit Hülfe der höheren Mathematik nachweisen, das zweite ergibt sich leicht aus folgenden Schlüssen. Sind

Fig. 76 ad und dg die in 2 ganz kleinen aber gleichen Zeiträumen zurückgelegten Wege, so ist nach dem Gesetze der Trägheit ad = de. Denkt man sich eine Gerade Ce gezogen, so ist $\triangle$ Cad = $\triangle$ Cde, weil aber eg $\#$ df, so ist $\triangle$ Cdg = $\triangle$ Cde und folglich auch $\triangle$ Cad = $\triangle$ Cdg.

Betrachtet man die Planeten- und Trabantenbahnen als kreisförmig, wovon sie doch nur sehr wenig abweichen, so läßt sich auch das dritte Kepler'sche Gesetz leicht nachweisen. Es muß in diesem Falle die Centripetalkraft, die Anziehung des Centralkörpers, der durch die Bewegung entstandenen Centrifugalkraft gleich sein. Die Centrifugalkraft wird ausgedrückt durch $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$ (§. 72) und ist p die Centripetalkraft, so wird $p = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$. Für einen andern um denselben Centralkörper kreisenden Stern mit anderer Umlaufsgeschwindigkeit und anderer Entfernung ist die Centrifugalkraft = $\frac{2\pi^2 R}{T^2}$, die ihr gleiche Centripetalkraft = P, und es ergibt sich hieraus

$$p : P = \frac{2\pi^2 r}{t^2} : \frac{2\pi^2 R}{T^2} = \frac{r}{t^2} : \frac{R}{T^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Da die Schwerkraft abnimmt wie das Quadrat der Entfernung wächst (§. 20), so müssen auch die Centripetalkräfte p und P verschieden sein, und es besteht zwischen ihnen das Verhältniß

$$p : P = \frac{1}{r^2} : \frac{1}{R^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Verbindet man die Gleichungen 1) und 2), so erhält man

$$\frac{1}{r} : \frac{1}{R^2} = \frac{r}{t^2} : \frac{R}{T^2}, \quad T^2 : t^2 = R^3 : r^3.$$

§. 74. Wenn ein flüssiger Körper sich selbst überlassen wird, so werden seine kleinsten Theile eine Gleichgewichtslage einzunehmen suchen, und diese ist erreicht, sobald der Körper die Kugelform erhalten hat, in welcher jeder Theil der Oberfläche die gleiche Anziehung gegen das Centrum erfährt. Man kann dieses sehr leicht nachweisen, wenn man Oel in eine Mischung von Weingeist und Wasser bringt, welche genau das specifische Gewicht des Oeles hat. In diesem Falle verliert das Oel nach dem Archimedischen Principe all sein Gewicht, wird dadurch von der Schwerewirkung der Erde, die nach §. 45 eine horizontale Oberfläche geben würde, unabhängig und nimmt die Form einer Kugel an. Wie die Geologie lehrt, war die Erde früher im feurigen Flusse befindlich und bekam als Flüssigkeit eine Kugelform.

Wenn eine Kugel um eine Axe rotirt, so sind ihre verschiedenen Theile den Einflüssen der Centrifugalkraft ausgesetzt und die Größe dieser Einflüsse wird sich nach dem Radius des Kreises, den je ein

Punct beschreibt, und nach der Zeit richten, die er zu einem Umlauf nöthig hat. Was nun bei einer um eine Axe rotirenden Kugel die Umlaufszeit anbelangt, so ist diese für jeden ihrer Puncte dieselbe; nicht so ist es mit dem Radius, denn diejenigen Puncte, die der Oberfläche und dem Aequator näher liegen, beschreiben größere Kreise als diejenigen, die bei den Polen und der Axe sind. Nach §. 72 wächst die Centrifugalkraft mit dem Radius und folglich erreicht sie auch im Aequator ihren größten Werth.

Jeder Körper besteht aus einer großen Menge materieller Theilchen, die gegenseitig ihre Anziehung ausüben, und nach §. 36 ist bei einer Kugel der Mittelpunct derjenige Punct, nach dem die Resultirende aller dieser Einzelanziehungen thätig ist. Alle Theile der Oberfläche werden als in gleicher Entfernung von demselben befindlich mit gleicher Kraft angezogen.

Nimmt man nun die Schwere und die Centrifugalkraft als bei einer rotirenden Kugel gleichzeitig wirkend an, so sucht die erstere die Theilchen dem Mittelpuncte zu nähern, und dieses Bestreben ist bei gleicher Entfernung vom Mittelpuncte stets gleich groß; die Centrifugalkraft sucht die Theilchen von der Axe zu entfernen, ihre Wirkung ist in dieser selbst gleich Null und erreicht im Aequator ein Maximum. Das Facit ist, daß die am Aequator befindlichen Theile einer jeden Kugelschale ein geringeres Bestreben, sich dem Mittelpuncte zu nähern haben, als die, welche in der Nähe der Pole sind, und aus diesem Grunde wird die Gestalt des flüssigen Körpers nicht mehr eine reine Kugel, sondern ein Ellipsoid, eine sogenannte abgeplattete Kugel. Diese Gestalt kommt den Planeten, also auch unserer Erde zu, und der Aequatorialdurchmesser der letzteren ist um $\frac{1}{300}$ größer als die Axe. Je größer die Rotationsgeschwindigkeit, um so größer muß die Abplattung sein, wie dieses auch die schneller rotirenden Planeten Jupiter und Saturn in der That zeigen.

§. 75. Wenn ein bewegter Körper auf seinem Wege einen andern trifft, so kann er wegen dessen Undurchdringlichkeit (§. 9) seine Bewegung nicht ungehindert fortsetzen, er sucht den im Wege befindlichen Gegenstand auf die Seite zu schaffen und wird ihm eine bestimmte Bewegung geben. Hiebei tritt entweder eine Aenderung in den Molecularverhältnissen des einen oder beider Körper ein, oder es geschieht dieses nicht. In dem letzteren Falle ist nach dem Stoße die Geschwindigkeit beider Körper gleich, und der stoßende hat dem gestoßenen so

viel Bewegung mitgetheilt, um seiner ganzen Masse die entsprechende Geschwindigkeit beizubringen, er verliert daher von seiner Bewegungsgröße um so mehr, je größer die Differenz der Geschwindigkeiten beider, und je größer die Masse des gestoßenen Körpers ist. Was der eine Körper verliert, gewinnt der andere.

Haben die 2 Körper die Massen m und m_1, die Geschwindigkeiten v und v_1, so werden nach §. 19 die Producte mv und m_1v_1 die Größen ihrer Bewegung ausdrücken. Wenn sie nach dem Zusammenstoße mit einander fortgehen, so haben sie eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit V, sie bilden jetzt gewissermaßen einen einzigen Körper von der Masse $m + m_1$, und dessen Bewegungsgröße wird durch das Product $(m + m_1)V$ ausgedrückt. Es ist kein Grund vorhanden, warum die Summe der Bewegungsgrößen beider Körper vor und nach dem Stoße verschieden sein sollte, denn beide haben nach außen nichts abgegeben, von dort nichts aufgenommen, es ist also

$$mv + m_1v_1 = (m + m_1)V \text{ oder } V = \frac{mv + m_1v_1}{m + m_1}.$$

Der Körper m, den wir als den gestoßenen annehmen wollen, hatte vor dem Stoße die Bewegungsgröße mv, nachher $mV = m\left(\frac{mv + m_1v_1}{m + m_1}\right)$, er hat also gewonnen das, was er jetzt hat nach Abzug dessen, was er vorher besaß, folglich

$$m\left(\frac{mv + m_1v_1}{m + m_1}\right) - mv = \frac{mm_1(v_1 - v)}{m + m_1} \quad . \quad 1)$$

und an Geschwindigkeit ist seine Aenderung

$$V - v = \frac{mv + m_1v_1}{m + m_1} - v = \frac{m_1(v_1 - v)}{m + m_1} \quad . \quad . \quad 2)$$

Auf dieselbe Weise findet man den Verlust, den m_1 an Bewegungsgröße erleidet

$$m_1v_1 - m_1\left(\frac{mv + m_1v_1}{m + m_1}\right) = \frac{m_1m(v_1 - v)}{m + m_1} \quad . \quad 1')$$

seinen Verlust an Geschwindigkeit

$$v_1 - \frac{mv + m_1v_1}{m + m_1} = \frac{m(v_1 - v)}{m + m_1} \quad . \quad . \quad . \quad 2')$$

Sind die ursprünglichen Richtungen beider Körper einander entgegengesetzt, so muß bei v oder v_1 das Zeichen — genommen werden.

Sind die Massen beider Körper gleich, also $m = m_1$, so ergibt sich $V = \frac{v + v_1}{2}$, und wenn der eine Körper gegen den andern unendlich groß ist, wie das eintritt, wenn ein irdischer Körper (m_1) auf die Erde (m) stößt (fällt), so wird $V = v$.

§. 76. Wird der gestoßene Körper durch den stoßenden in Bewegung gesetzt, so empfinden nicht alle seine Theile diesen Einfluß gleichzeitig. Zuerst werden die an der Oberfläche liegenden Molecüle bewegt, diese treiben die nächsten u. s. w. bis endlich alle zusammen

weiter gehen. Die Zeit, die hiezu nothwendig ist, ist zwar eine sehr kurze, aber doch ist sie nicht null, und bei sehr großer Differenz in der Geschwindigkeit der Körper kann es daher sehr leicht dazu kommen, daß ein Theil der Molecüle, die den einen derselben oder beide zusammensetzen, früher aus dem Zusammenhange mit den übrigen gerissen wird, als sich die Bewegung der Gesammtmasse mittheilt. So kann man ein Loch durch eine geöffnete Thüre schießen, weil die Bewegung nicht Zeit hat, sich bis zu den Angeln fortzupflanzen, während ein an und für sich viel schwächerer Stoß die Thüre dreht.

Wenn übrigens ein Zerbrechen eines Körpers bei dem Stoße die Ausnahme bildet, so findet doch jedenfalls die Erscheinung statt, daß im ersten Momente des Stoßes die unmittelbar getroffenen Theilchen sich den zunächstliegenden etwas nähern, diese den hinter ihnen befindlichen u. s. w., worauf, wenn nach und nach die sämmtlichen Theilchen des gestoßenen Körpers die Bewegung angenommen haben, sich der ursprüngliche Molecularzustand wieder herzustellen sucht.

Die Größe der gegenseitigen Distanzveränderung, welche möglich ist, ohne daß der Körper zerbricht, sowie die Vollkommenheit des Vermögens, den momentan gestörten ursprünglichen Zusammenhang wieder herzustellen, ist von einem Körper zum andern verschieden und man nennt diejenigen, welche diese Eigenschaften in hohem Grade besitzen, elastische, im Gegensatze zu den unelastischen, bei denen man sie nur in geringem bis unmerklichen Maaße beobachtet.

Stößt ein Körper A (Fig. 79), dessen Theilchen wir als vollkommen unveränderlich annehmen wollen, der also vollständig hart ist, auf einen elastischen B, so wird der letztere bei dem Stoße zusammengedrückt, geht also aus dem Zustande B in den von B_1 über. Ist dieses geschehen, so ist das Verhalten des elastischen Körpers dem eines harten gleich, und es würden die im vorhergehenden Paragraphe

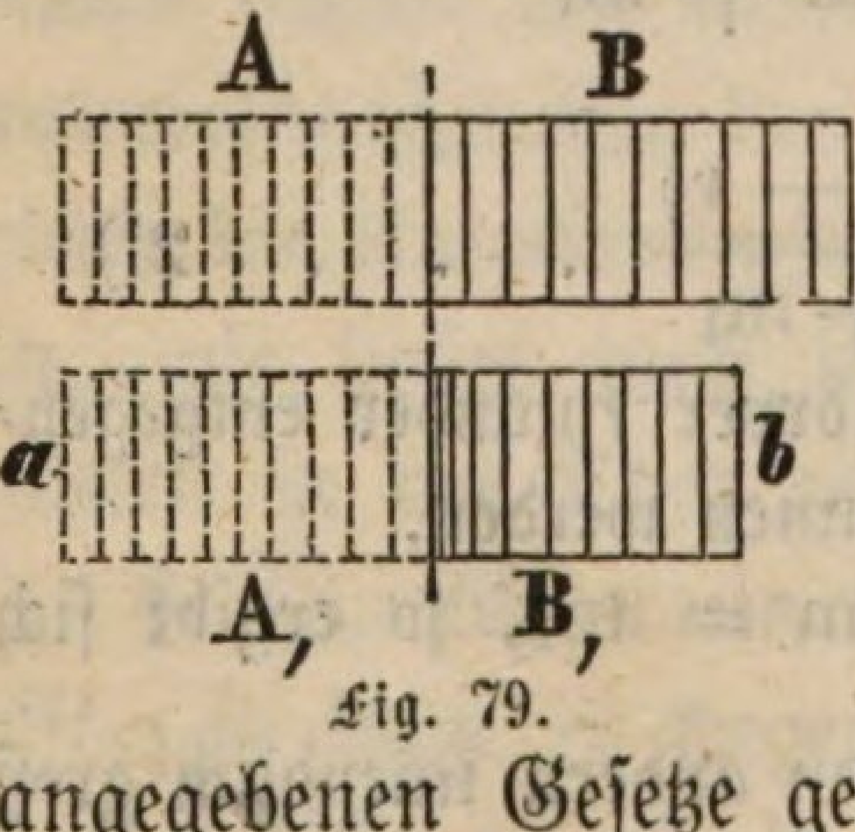


Fig. 79.

angegebenen Gesetze gelten, wenn nicht auf die zeitweilige Zusammendrückung eine Wiederherstellung des früheren Molecularzustandes B folgte. Der Erfolg dieser Wiederherstellung ist der, daß die gegenseitige Entfernung der einzelnen Theile beider Körper, wie z. B. die von a und b größer wird, es ist gerade so, als bekomme der stoßende Körper einen neuen Stoß nach rückwärts, der gestoßene einen solchen nach vorwärts, und da die Kraft dieses neuen Stoßes, der aus der Wieder=

herstellung der ursprünglichen Gestalt hervorgeht, bei vollkommen elastischen Körpern gerade so groß ist, als diejenige, welche die Veränderung bewirkte, so verliert der eine Körper, gewinnt der andere an Bewegung zum zweitenmale, und Gewinn und Verlust sind also hier doppelt so groß, als bei dem Stoße nichtelastischer Körper. Wäre nicht der gestoßene Körper, sondern der stoßende elastisch, ersterer aber hart, so würde der stoßende zusammengedrückt, der Erfolg aber wäre derselbe und der nämliche Fall muß auch eintreten, wenn beide Körper elastisch sind, denn jetzt vertheilt sich die Zusammendrückung auf beide, und bei der Wiederherstellung der Gestalt stoßen beide gegen einander.

Ist die Geschwindigkeit des Körpers m nach dem Stoße gleich c, so ist seine Bewegungsgröße wie sich aus der Verbindung der vorstehenden Betrachtung und der Gleichung 1) des §. 75 ergibt, gleich der Summe seiner ursprünglichen und des Gewinnes, der doppelt so groß ist als im vorigen Falle, also

$$mc = mv + \frac{2mm_1(v_1 - v)}{m + m_1} = \frac{m(m - m_1)v + 2mm_1v_1}{m + m_1},$$

und die Geschwindigkeit $c = \dfrac{(m - m_1)v + 2m_1v_1}{m + m_1}$

In gleicher Weise erhält man für den Körper m_1

$$m_1c_1 = \frac{m_1(m_1 - m)v_1 + 2mm_1v}{m + m_1}$$

$$c_1 = \frac{(m_1 - m)v_1 + 2mv}{m + m_1}.$$

Sind beide Massen gleich, so wird $c = v_1$ und $c_1 = v$, es werden also die Geschwindigkeiten gewechselt. Ist der eine Körper m_1 mit der Erde fest verbunden, und ist m gegen die Masse der letzteren, die wir als ruhend annehmen wollen, verschwindend klein, so wird, da $v_1 = 0$ und $m = 0$, $c = -v$, er geht also mit derselben Geschwindigkeit zurück, mit der er gekommen ist, d. h. er wird reflectirt.

Stößt m nicht senkrecht auf die Wand, sondern in einer schiefen Richtung ab (Fig. 80), so kann man sich seinen Stoß in 2 Theile zerlegt denken, von denen der eine ac senkrecht gegen die Wand geführt ist, während der andere ad parallel mit derselben geht. Nach dem Stoße ist die erstere Bewegung der Richtung nach umgekehrt, die letztere bleibt unverändert, und der Körper m geht also in der Richtung be fort. Es ist der Winkel abd (Einfallswinkel) gleich dem Winkel ebd (Reflexionswinkel). Auch bei schiefem Stoße auf einen beweglichen Körper f (Fig. 81) findet man eine

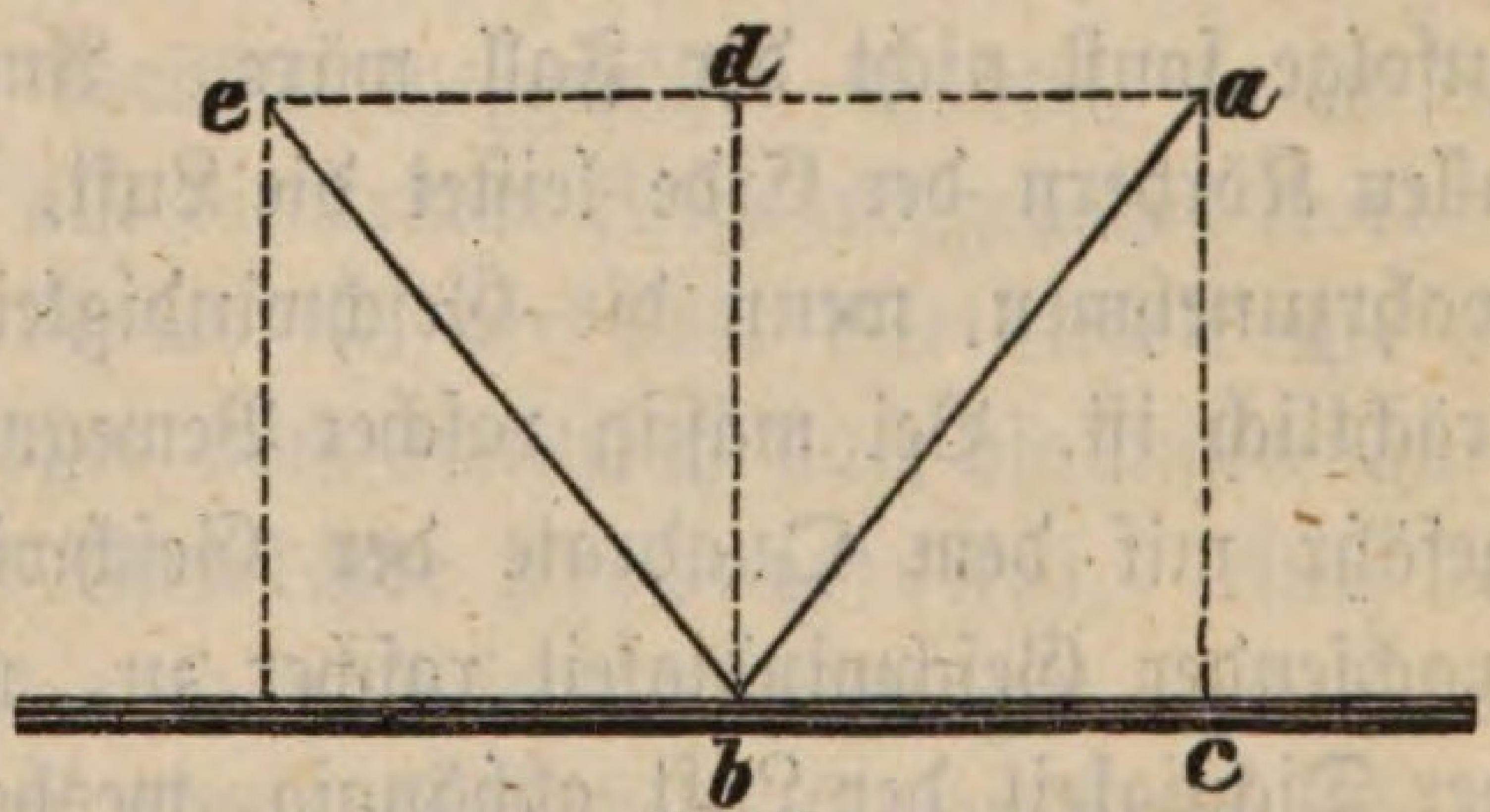
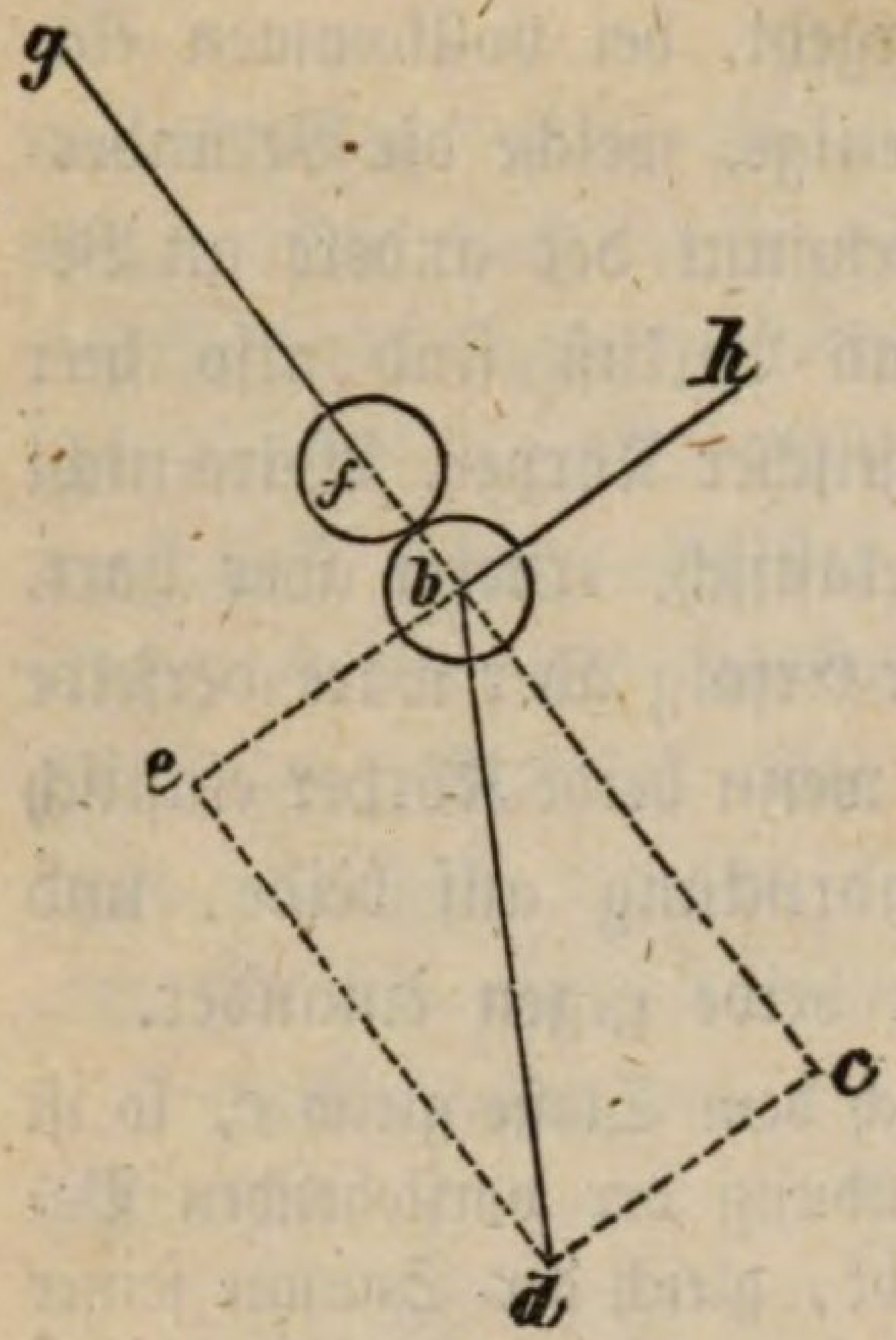


Fig. 80.


Fig. 81.

Zerlegung der Richtung db, aus welcher b herkömmt; sie zerlegt sich in de = bc, welche, wie wenn der Stoß central wäre, den Körper f nach g bringt, während die bleibende Kraft dc = eb den Körper b nach h treibt. Es finden diese Principien vorzugsweise bei dem Billard ihre Anwendung, doch kommt bei diesem noch der Umstand hinzu, daß man dem Spielballe durch excentrisches Anstoßen noch eine Rotation beibringen kann, vermöge deren er sich auch nach dem Anprallen weiter bewegen wird. Spielt man unterhalb des Centrums an, so läuft der Spielball vermöge der Rotation zurück (kurzer Stoß), spielt man oberhalb an, so läuft er vor (langer Stoß), spielt man seitwärts an, so dreht er sich auch seitlich (falscher Stoß). Wenn ein Ball eine größere Strecke über das Tuch hinläuft, so veranlaßt die an demselben stattfindende Reibung eine dem langen Stoße entsprechende Rotation.

§. 77. Wenn ein bewegter Körper auf einen andern stößt, so wird seine Geschwindigkeit vermindert, weil er dem gestoßenen Gegenstande einen Theil derselben abtreten muß; trennt er dessen Molecüle, wie dieses die durch ein Brett gehende Flintenkugel thut, so muß seine Schnelligkeit aus dem doppelten Grunde abnehmen, daß er einen Theil der Molecüle des getrennten Gegenstandes aus ihrem Zusammenhange mit den übrigen reißen und sie noch außerdem aus seiner Bahn schaffen muß, und die nothwendige Folge davon ist, daß er nach und nach seine Bewegung vollständig verliert.

Hierin liegt einer der Gründe, warum jede Bewegung auf der Erde allmälig erlahmt, was dem Satze von der Trägheit der Körper zufolge sonst nicht der Fall wäre. Am wenigsten Widerstand unter allen Körpern der Erde leistet die Luft, doch ist auch dieser sehr leicht wahrzunehmen, wenn die Geschwindigkeit des Körpers nur etwas beträchtlich ist. Bei mäßig rascher Bewegung wächst ihr Widerstand ungefähr mit dem Quadrate der Geschwindigkeit, er nimmt aber bei wachsender Geschwindigkeit rascher zu, und außerdem ist er noch von der Dichtigkeit der Luft abhängig, weshalb auch die Curve, welche die Geschosse der Flinten und Kanonen, bei welchen dieser Widerstand der Luft eine Hauptrolle spielt, nur sehr schwierig und dann nur annähernd zu bestimmen ist. Die Wirkung, welche eine Kanonenkugel, die sich mit einer Geschwindigkeit von 2000 Fuß bewegt, von dem Wider-

stande der ruhenden Luft erfährt, ist eben so groß als die, welche ein Sturm von gleicher Geschwindigkeit auf eine ruhende Kugel ausüben würde, und man kann sich davon einen Begriff machen, wenn man die Wirkungen eines Orkans bedenkt, der noch dazu nur eine Geschwindigkeit von kaum 150 Fuß besitzt. Je größer das Quantum Luft ist, welches der bewegte Körper bei gleicher Masse zu verdrängen hat, um so größer wird deren Widerstand sein, und ein Gegenstand, der wie ein Keil in die Luft eindringt, muß dieselbe leichter durchschneiden, als wenn er an seinem vorderen Ende eben ist.

Die sogenannten Spitzkugeln sind daher den runden Kugeln vorzuziehen. Liegt der Schwerpunct der Spitzkugel nicht in deren Axe, was bei der Art der Herstellung derselben niemals verbürgt werden kann, so ist die Wirkung der Luft nicht auf allen Seiten gleich und es ergeben sich dann Abweichungen des Geschoßes von seiner Bahn, die dadurch aufgehoben werden, daß dasselbe, indem es den Lauf des Gewehres passirt, durch dessen Züge außer der Vorwärtsbewegung noch eine Rotation um seine Axe bekommt, wodurch die seitliche Wirkung des Luftwiderstandes compensirt wird. Hierauf beruht der Vorzug der gezogenen Läufe vor den glatten. Bei dem Wasser ist der Widerstand natürlich viel größer als bei der Luft. Auch hier wird derselbe durch die keilförmige Gestalt des Körpers gemindert. Daher die Form der Fische und Schiffe.

§. 78. Auch dann, wenn ein Körper von einem andern nicht durchdrungen wird, sondern wenn letzterer sich nur an dessen Oberfläche hinbewegt, wirkt diese durch **Reibung** hemmend auf sein Fortschreiten ein. Betrachten wir einen festen Körper, so wird er auf seiner Oberfläche unsern Sinnen zwar möglicherweise glatt erscheinen; allein genauer betrachtet ist diese Oberfläche nicht eine Ebene, sondern ein Aggregat vieler größeren oder kleineren Erhabenheiten und Vertiefungen, und soll ein anderer Körper darüber weggeführt werden, so ist der Effect derselbe, als sei er über alle die kleinen Berge weggehoben worden. Je größer das Gewicht des Körpers ist, der über alle diese Berge gehoben werden soll, um so größer muß natürlich auch die Anstrengung sein, **die Reibung ist dem Gewichte proportional.** Auch der gleitende Körper ist nicht glatt und auch seine Erhöhungen werden von Einfluß sein; je nachdem man aber verschiedene Gegenstände sich an einander reiben läßt, werden die gegenseitigen Erhabenheiten und Vertiefungen mehr oder weniger in einander passen und die Folge davon wird sein, daß die Kraft, welche nothwendig ist um gleiche Gewichte fortzuführen, gleichzeitig mit dem bewegten Gegenstande und mit der

Unterlage wechselt. Um einen Körper über eine horizontale Fläche hingleiten zu lassen, ist eine bestimmte Kraft nöthig, welche dem Zuge eines senkrecht abwärts wirkenden Gewichtes entspricht. Dividirt man die Masse dieses Gewichtes durch die des Körpers, dessen Reibung gerade aufgehoben wird, so erhält man einen Bruch, dessen Größe der Reibungscoëfficient heißt. Der Versuch lehrt diesen für die einzelnen Combinationen kennen.

Die Resultate solcher Versuche findet man vielfach in den Büchern veröffentlicht; sie stimmen übrigens bei den verschiedenen Beobachtern selten zusammen, da die Rauhigkeit der sich reibenden Flächen, die bei jedem Versuche eine andere sein kann, von hohem Einflusse auf die sich ergebenden Zahlen ist.

Von der vorerwähnten gleitenden Reibung ist die wälzende zu unterscheiden, wo ein runder Körper über einer ebenen Fläche hinrollt; letztere ist bedeutend kleiner als erstere, und nimmt ab, wenn der Radius des rollenden Körpers wächst.

Bei dem Wagenrade findet an der Peripherie wälzende Reibung zwischen dem Rade und der Straße, an der Axe aber gleitende Reibung zwischen Rad und Axe statt. Die letztere Reibung ist es, welche durch die Schmiere vermindert wird. Auf einer gewöhnlichen horizontalen Straße betragen beide Reibungen zusammen etwa $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{20}$ der Last; ein Pferd also, das vermöge seiner Kraft im Stande wäre, 100 Pfunde in die Höhe zu heben, zieht auf der horizontalen Straße mit der gleichen Anstrengung 1500—2000 Pfunde. Auf den Eisenbahnen erreicht die Reibung nur etwa $\frac{1}{10}$ von der Größe, die auf der gewöhnlichen Straße vorhanden ist.

Die Reibung ist die Ursache, daß alle unsere Maschinen, nachdem sie einige Zeit im Gange gewesen sind, stille stehen. Nach §. 43 ist die Arbeitsleistung d. i. das Product aus dem Gewichte der gehobenen Masse in die Höhe, um welche sie gehoben wurde, bei keiner Maschine größer als die Leistung, die man anwendet, um sie in Gang zu setzen. Ohne Reibung wären beide Größen gleich, da es aber keine Maschine ohne Reibung gibt, so muß sich bei jeder auch ein Verlust an geleisteter Arbeit herausstellen. Wenn so die Reibung in vielen Fällen eine unangenehme Erscheinung ist, so kommt sie uns doch in andern wieder sehr zu statten; ohne sie würde z. B. kein Gewebe zusammenhalten. Jedermann kennt die Schwierigkeit, bei Glatteis zu gehen, diese Schwierigkeit rührt von der abnormen Abnahme der Reibung zwischen unsern Füßen und dem Boden her, und wenn sie gänzlich fehlen würde, wäre es uns unmöglich, uns auf irgend einer geneigten Fläche zu erhalten.

§. 79. Will man einen Körper in Bewegung setzen, so muß man eine bestimmte Menge von Kraft verwenden, die man als nun in ihm befindlich betrachten kann, und die wieder entfernt werden muß, wenn

er zum Stillstand gebracht werden soll. Ist ein Körper von z. B. 10 Pfunden eine Höhe von 60 Fuß herabgefallen, so hat, wenn wir hiebei von dem Widerstande der Luft absehen, die Schwere 2 Secunden lang auf ihn eingewirkt und hat ihm eine Geschwindigkeit von 60 Fuß in einer Secunde beigebracht. Diese Geschwindigkeit ist aber gerade so groß, als diejenige ist, welche man einem andern geben müßte, welchen man 60 Fuß in die Höhe werfen wollte. Die Einwirkung der Schwere erstreckt sich auf jedes Massentheilchen, jedes hat am Ende des Falles die Geschwindigkeit von 60 Fuß und ebenso muß auch bei dem Emporschleudern jedem Massentheilchen die gleiche Geschwindigkeit beigebracht werden. Daraus folgt, daß der Körper beim Fallen ebensoviel Kraft gewinnt, als nothwendigerweise einem andern von gleichem Gewichte beigebracht werden muß, um ihn auf die gleiche Höhe zu bringen. Man nennt das Product aus der Masse eines Körpers in die Höhe, zu der er vermöge seiner Geschwindigkeit vertical aufsteigen würde, seine lebendige Kraft, und in unserem Beispiele wäre also $60 \times 10 = 600$ Fußpfund die lebendige Kraft des gefallenen Körpers, womit angedeutet werden soll, daß der Körper im Stande ist einen Widerstand, der so groß ist als ihn die Schwere auf einen Körper von 10 ℔ ausübt, auf einer Strecke von 60 Fuß zu überwinden, bis seine Kraft vollständig erschöpft ist. Da nach §. 70 die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers der Quadratwurzel des Fallraumes proportional ist, so wächst auch die lebendige Kraft, das Product aus Masse und Fallraum, wie das Quadrat der Geschwindigkeit eines Körpers.

Bezeichnet man die lebendige Kraft mit L, die Masse mit M, die Höhe mit s, so ist $L = Ms$ der Ausdruck für die lebendige Kraft; da aber (§. 70 2″) $v = \sqrt{2gs}$, also $s = \frac{v^2}{2g}$, so können wir auch setzen $L = M\frac{v^2}{2g}$, es ist also die lebendige Kraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional.

Eine Verbindung des Satzes von der lebendigen Kraft und des Satzes von der Bewegungsgröße mag folgendes Beispiel zeigen. Wird aus einer Kanone eine Kugel von 24 Pfunden losgeschossen und erhält sie dabei eine Geschwindigkeit von 1500 Fuß, so ist ihre lebendige Kraft $\frac{24 . 1500 . 1500}{2 . 30}$ $= 900000$ Fußpfunden, ihre Bewegungsgröße aber ist $24 . 1500 = 36000$ Fußpfunden. Die Bewegung der Kugel entsteht dadurch, daß bei dem Entzünden des Pulvers sich plötzlich eine große Menge von Gasen entwickelt, die in ihrem Bestreben sich auszudehnen nach allen Seiten einen un-

geheuren Druck ausüben. Da der Kanone von außen kein Stoß gegeben worden ist, so kann keine Ursache vorhanden sein, warum der ihr mit der Kugel gemeinschaftliche Schwerpunct seine Lage verrücken sollte, und wenn die Kugel nach der einen Richtung fliegt, geht das Rohr so nach der entgegengesetzten, daß der gemeinschaftliche Schwerpunct immer an derselben Stelle bleibt. Die Kanone bewegt sich um sovielmal weniger schnell rückwärts als die Kugel vorwärts, als sie ihr an Masse überlegen ist, und wenn sie, wie dieses Regel, etwa 300mal so schwer ist, so bekommt sie eine Geschwindigkeit von 5 Fuß, ihre Bewegungsgröße ist 5 . 24 . 300 = 36000 Fußpfunden wie bei der Kugel und ihre lebendige Kraft ist $\frac{24 . 300 . 5 . 5}{60}$ = 3000 Fußpfunden. Würde sich die Kanone senkrecht in die Höhe bewegen, so würde sie bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 5 Fuß nach der Formel $s = \frac{v^2}{2g}$ bis zur Höhe $\frac{25}{60} = \frac{5}{12}$ Fuß steigen, bewegt sie sich aber auf einer Landstraße, auf welcher der Reibungscoëficient $\frac{1}{20}$ ist, so verliert sie bei dem Rückstoße auch nur $\frac{1}{20}$ von dem, was sie bei dem Aufsteigen verloren hätte, und sie geht also 20 . $\frac{5}{12} = 8\frac{1}{3}$ Fuß zurück, bis sie zur Ruhe gelangt. Wäre die Geschwindigkeit der Kanone 10 Fuß gewesen, so würde sie, wenn ihre Bewegung senkrecht aufwärts wäre, bis zur Höhe $s = \frac{v^2}{2g} = \frac{10 . 10}{60} = \frac{5}{3}$ Fuß steigen, und bei dem Reibungscoëfficienten $\frac{1}{20}$ würde sie jetzt $\frac{5}{3} . 20 = 33\frac{1}{3}$ Fuß rückwärts gehen.

Die Kugel würde bei senkrechtem Aufsteigen bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 1500 Fuß eine Höhe von $\frac{1500 . 1500}{60}$ = 37500 Fuß erreichen; schlägt sie aber gegen eine Mauer, von der wir annehmen wollen, daß sie einen 10000mal so großen Widerstand leistet als die Schwere, so dringt sie in diese 3.75 Fuß, bis sie stecken bleibt.

§. 80. Bei der Einwirkung der Schwere auf einen fallenden Körper ergibt sich, daß sich während des ganzen Falles in jedem einzelnen Zeittheilchen zu der bereits vorhandenen Geschwindigkeit eine neue addirt, die eben so groß ist als diejenige, welche den andern Zeittheilchen von gleicher Dauer entspricht. Dadurch wird die Bewegung eine gleichförmig beschleunigte. Ist dagegen die jeweilige Wirkung, die der Körper erfährt, nicht constant, sondern je nach dem Puncte, an dem er sich befindet, verschieden, so kann es natürlich auch die Änderung der Geschwindigkeit nicht sein, und wir erhalten daher die **ungleichförmig beschleunigte** oder die **ungleichförmig verzögerte Bewegung**.

Der einfachste Fall einer solchen Bewegung tritt ein, wenn die Anziehung, die ein Körper erfährt, seiner jeweiligen Entfernung von

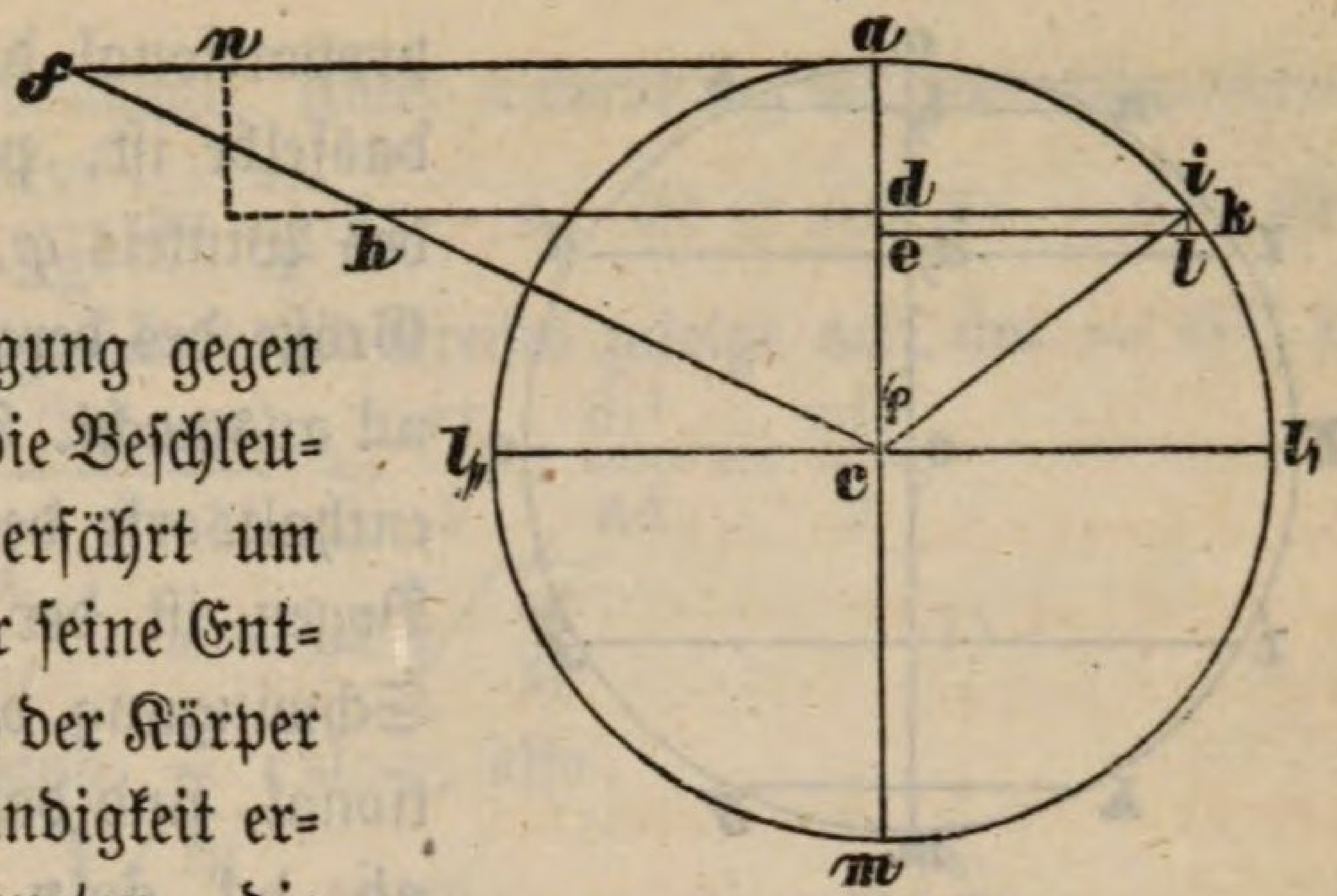


Fig. 83.

einem gegebenen Puncte proportional ist. Ist (Fig. 83) a der Punct, von dem aus die Bewegung gegen c hin beginnt, und ist die Beschleunigung, die der Körper erfährt um so größer, je bedeutender seine Entfernung von c ist, so wird der Körper in a eine gewisse Geschwindigkeit erlangen. Auf allen Puncten, die zwischen a und c sind, bekommt der Körper einen neuen Zuwachs zu seiner Bewegung, er geht also immer schneller; aber der Zuwachs wird immer kleiner, je mehr er sich c nähert, und in diesem Puncte bekommt er gar keinen mehr, er langt dort mit dem Maximum seiner Geschwindigkeit an. Vermöge des Trägheitsgesetzes geht der Körper über c hinaus, weil aber damit auch die Entfernung von diesem Puncte wächst und die gegen denselben stattfindende Anziehung in einem dem vorigen entgegengesetzten Sinne wirkt, so nimmt die Geschwindigkeit stufenweise zuerst langsam dann wegen der zunehmenden Entfernung rascher wieder ab, und ist der Körper in m, das von c ebensoweit entfernt ist als a, angelangt, so hat er seine ganze Bewegung eingebüßt. Nun wirkt aber die Anziehung gegen c, er kehrt daher ebenso wie der in die Höhe geworfene Stein um, erreicht in c wieder das Maximum seiner Geschwindigkeit und gelangt mit Hülfe derselben nach a zurück, um dann zum zweitenmale nach m zu gehen. Man nennt dieses Hin- und Hergehen **Schwingungen** oder **Vibrationen**. Die größte Entfernung des beweglichen Körpers von dem Puncte c heißt die **Schwingungsweite** oder **Amplitude**, seine Geschwindigkeit in c ist die **Vibrationsgeschwindigkeit**, sein jeweiliger Abstand von diesem Puncte heißt **Elongation**, die diesem Abstande entsprechende Bewegung heißt **Phase** und die Zeit, welche der Körper zu einem Hin- und Hergange braucht, ist die **Schwingungsdauer**.

Kennt man die Schwingungsamplitude ac eines Körpers, den Zeitpunct, an welchem er a verlassen hat und die Schwingungsdauer, so lassen sich die verschiedenen Zustände desselben für jeden beliebigen Augenblick in folgender Weise angeben. Zieht man mit dem Radius ac einen Kreis um c und sucht man die Geschwindigkeit, die der Körper an einem beliebigen Puncte etwa in d hat, so ist diese proportional

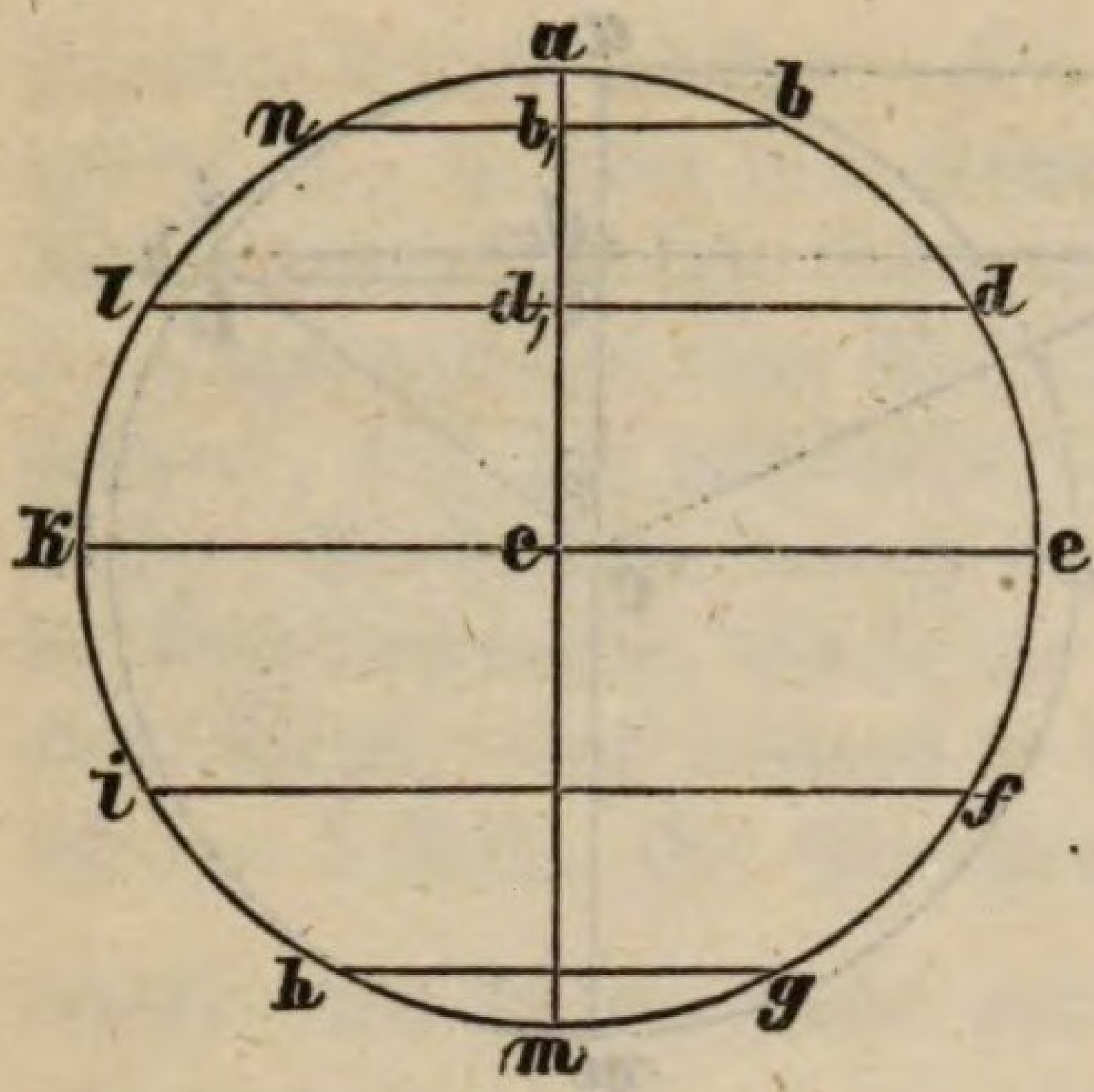


Fig. 83.

proportional der Größe di, oder was dasselbe ist, proportional dem Sinus des Winkels φ, dessen Sinusversus die Größe des bereits zurückgelegten Weges ad ausmacht. Der dem jeweiligen Aufenthaltsorte des Körpers entsprechende Bogen ist der seit dem Beginne der Schwingung verflossenen Zeit proportional, sind daher (Fig. 83) die Bogen ab, bd, de u. s. w. je $\frac{1}{12}$ der ganzen Peripherie, so wird der Körper je $\frac{1}{12}$ der ganzen Schwingungsdauer nöthig haben, um von a nach b_1, von da nach d_1 u. s. w. zu gelangen.

Ist (Fig. 82) a der Punct, an dem die Bewegung gegen den Punct c beginnt, und soll die Geschwindigkeit bestimmt werden, die er bei seinem Durchgange durch d besitzt, so sind alle die Beschleunigungen zusammen zu zählen, die er auf dem Wege ad bekommen hat. Stellt af, das sich zu ac verhalten möge wie s : 1, so daß af = s . ac = s . r, die dem Puncte a entsprechende Beschleunigung vor und zieht man die Gerade fc, so gibt dh die an dem Puncte d stattfindende Wirkung an, denn es ist ja cd : ac = dh : af oder dh = cd . s und überhaupt wird jede von irgend einem Puncte der Geraden ac gezogene und die jeweilige Beschleunigung repräsentirende Senkrechte ihren Endpunct in cf haben. Will man nun wissen, wie groß alle die Wirkungen seien, die der schwingende Körper erhalten hat, wenn er in d angekommen ist, so ergibt sich, daß ihre Summe eben so groß sein müsse, als wenn auf dem ganzen Wege die gleichförmige Beschleunigung an $= \frac{af + dh}{2}$ stattgefunden hätte, und das Product ad . an gibt dann die Gesammtwirkung an. Setzt man ac = r und ad = x, so wird

$$an = \frac{af + dh}{2} = \frac{s . ac + s . cd}{2} = s\left(\frac{r + (r - x)}{2}\right)$$

und $ad . an = s . x\left(\frac{r + (r - x)}{2}\right) = \frac{sx}{2}(2r - x)$.

Alle diese Einwirkungen hat der Körper in sich aufgenommen und dadurch eine bestimmte Geschwindigkeit erlangt, vermöge deren er, wenn seine Richtung umgekehrt würde, bis a zurücksteigen müßte, wenn er an jedem Puncte seines Weges den constanten Widerstand $s\left(\frac{2r - x}{2}\right)$ oder den von $s(r - x)$ bis sr wachsenden erfahren würde. Ebenso würde er den Widerstand der Schwere eine gewisse Strecke hindurch überwinden. Durch Vergleichung mit den in §. 79 angeführten Grundsätzen zeigt sich, daß die in dem Körper aufgespeicherte Kraft keine andere ist als die dort mit dem Aus=

drucke „lebendige Kraft“ benannte. Unter Anwendung der dort gebrauchten Bezeichnungen ergibt sich $\frac{Mv^2}{2g} = \frac{sx}{2}(2r - x)$. Es ist aber $2r - x = dm$ und da einer bekannten Eigenschaft des Kreises zufolge $ad \cdot dm = di^2$, so ergibt sich $\frac{Mv^2}{2g} = \frac{sx(2r - x)}{2} = \frac{sx}{2} \cdot \frac{di^2}{ad} = \frac{sdi^2}{2}$,

$$v^2 = \frac{sgdi^2}{M}, \quad v = di\sqrt{\frac{sg}{M}} \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Man hat $di = ci \sin\varphi = r \sin\varphi$, also

$$v = r\sqrt{\frac{sg}{M}} \cdot \sin\varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1^*)$$

Da der Ausdruck $r\sqrt{\frac{sg}{M}}$ aus lauter constanten Größen besteht, ist v einzig von den Aenderungen von $\sin\varphi$ abhängig, es ist also die Geschwindigkeit des in d angelangten Körpers proportional dem Sinus des Winkels φ, dessen Sinusversus die Länge ad ausmacht.

Befindet sich der Körper in c, so gilt für dieses, was vorhin für d galt, di geht über in cl_1 und φ wird $= 90^0$. Für diesen Fall wird also

$$V = r\sqrt{\frac{sg}{M}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad I)$$

welcher Ausdruck den Werth der Vibrationsgeschwindigkeit angibt. Wandert der Körper über c hinaus, so wird $\sin\varphi$ und damit auch die Geschwindigkeit immer kleiner, um in m wenn $\varphi = 180^0$ zu verschwinden. Jetzt geht vermöge der in entgegengesetztem Sinne wirkenden Kraft der Körper wieder gegen c zurück, φ wird größer als 180^0, darum erhält sein Sinus negativen Werth, und die Bewegung geht in der Richtung mc vor sich. Ist der Körper wieder in c angelangt, so entspricht seiner Bewegung der Bogen $al_{,}ml_{,,}$, $\varphi = 270^0$ und es ergibt sich seine Geschwindigkeit $V = - r\sqrt{\frac{sg}{M}}$. In a verschwindet diese rückläufige Bewegung wieder, weil $\sin 360^0 = 0$ und von nun an wiederholt sich die Reihe von Erscheinungen.

Gesetzt, der Punct e liege unendlich nahe an d, so ist es gestattet anzunehmen, daß die Geschwindigkeit des Körpers auf der Strecke de constant, und daß das zwischen den Geraden di und ek abgeschnittene Bogentheilchen ik gerade sei. Die Zeit t_1, welche verfließt, bis der Körper von d nach e gelangt, ist um so größer, je beträchtlicher der Weg, und um so kleiner, je bedeutender die Geschwindigkeit ist. Man hat daher $t_1 = \frac{de}{v}$ und wenn man für v seinen Werth aus 1) setzt, $t_1 = \frac{de}{di}\sqrt{\frac{M}{sg}}$. Es sind aber die Dreiecke cdi und kli ähnliche und $il : di = ik : ci$. Weil $il = de$ und $ci = r$, so wird $\frac{de}{di} = \frac{ik}{r}$ und $t_1 = \frac{ik}{r}\sqrt{\frac{M}{sg}}$. Es ist t_1 dem Bogen ik proportional und weil dieses für alle die kleinen Entfernungen gilt, die zwischen a und d

liegen, und die einer jeden derselben entsprechende Zeit dem dazu gehörigen Bogentheilchen proportional ist, so muß auch die Summe aller Zeittheilchen der Summe aller Bogentheilchen proportional sein. Bezeichnet man mit t die Zeit, welche der Körper braucht, um von a nach d zu kommen, so hat man

$$t = \frac{ai}{r}\sqrt{\frac{M}{sg}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Die Zeit, welche verstreicht, bis der Körper eine ganze Oscillation macht, ergibt sich leicht aus 2), wenn man ai den Werth $2r\pi$ gibt. Man bekommt

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{sg}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad II)$$

Die Zeit, welche ein Körper nöthig hat, um irgend einen Weg zurückzulegen, ist der Länge des Weges direct, der Geschwindigkeit umgekehrt proportional und würde er mit der Geschwindigkeit $r\sqrt{\frac{sg}{M}}$ die Peripherie $a_1 ma = 2r\pi$ durchlaufen, so hätte er die Zeit $\frac{2r\pi}{r\sqrt{\frac{sg}{M}}} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{sg}}$ nothwendig. Nun ist nach I) $r\sqrt{\frac{sg}{M}}$ gleich der Geschwindigkeit, mit der er die Gleichgewichtslage passirt und $2\pi\sqrt{\frac{sg}{M}}$ ist gleich T, gleich der ganzen Oscillationsdauer. Würden sich daher von a aus 2 Körper so bewegen, daß der eine zwischen a und m hin- und herschwingt, während der andere constant mit der Geschwindigkeit, die der erstere in c hat, die Peripherie des Kreises durchlauft, so würden beide gleichzeitig wieder nach a zurückkommen. Der eine Körper legt mit veränderlicher Geschwindigkeit den Durchmesser des Kreises hin und her zurück, während der andere dessen Peripherie beschreibt, dazu aber eine constante Geschwindigkeit gebraucht, welche dem Maximum der von dem ersteren erlangten gleich ist.

§. 81. Hängt man irgend einen Körper an eine Schnur, so hat man ein sogenanntes Senkloth, denn der Körper wird der Anziehung der Erde gehorchend die tiefste Stelle einnehmen, die ihm nach Art seiner Befestigung zu erreichen möglich ist, und man bekommt auf diese einfache Weise die Verticallinie, nämlich diejenige Richtung, welche die Schnur im Stande des Gleichgewichtes einnimmt. Bringt man den Körper aus der Gleichgewichtslage und läßt man ihn dann los, so macht er Schwingungen, er geht in einer Verticalebene hin und her. Wird der Apparat nicht so fast zur Aufsuchung der Verticallinie benützt, sondern faßt man zunächst dieses Hin- und Hergehen in's Auge, so heißt er ein Pendel, dessen Linse der aufgehängte schwingende Körper ist. Zeigt Fig. 84 ein solches Pendel in den beiden extremen Stellungen, so nennt man die Winkel abc und cbd die Ausschlagwinkel, die Größe des Bogens ac oder cd in Graden, Minuten

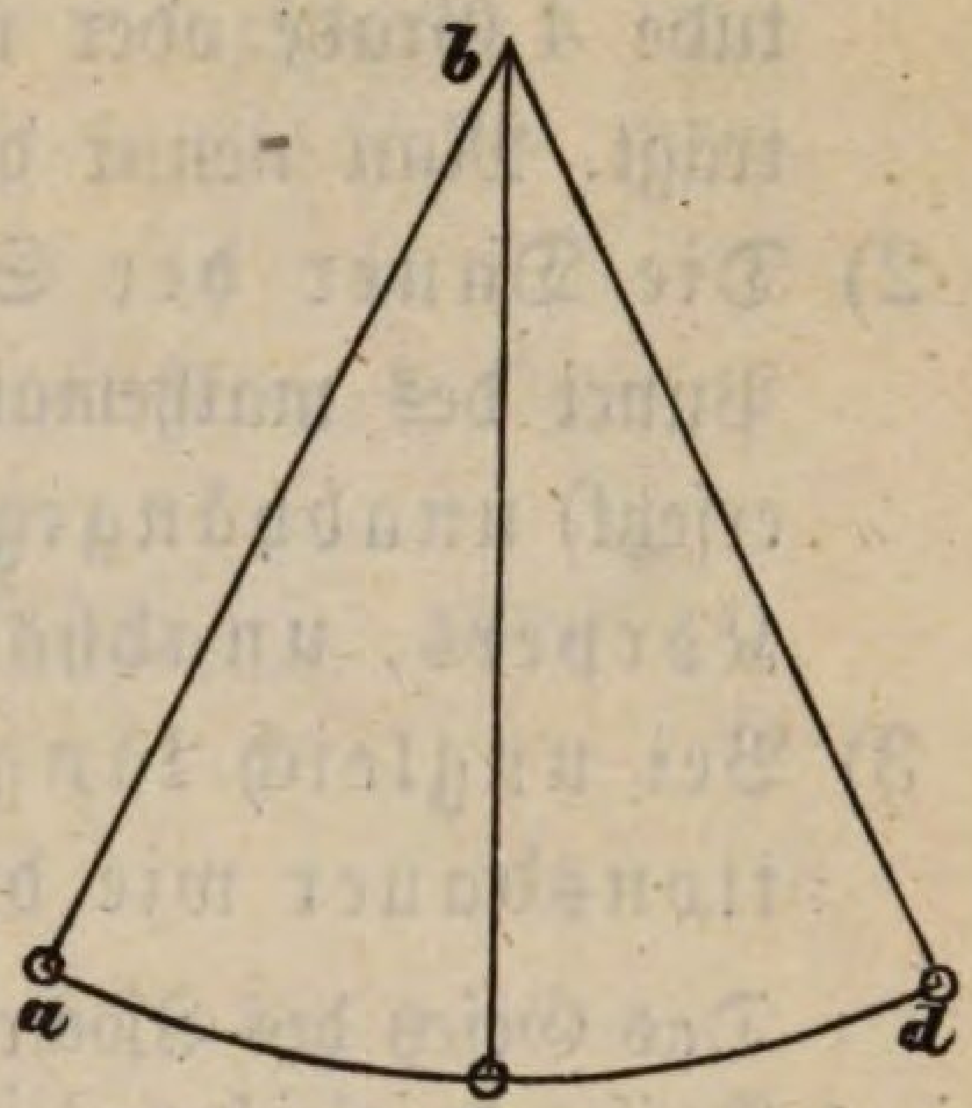


Fig. 84.

und Secunden ausgedrückt, heißt die Amplitude, die Bewegung des Körpers von a nach d oder umgekehrt heißt Oscillation und zwar ist sie von a bis c und von d bis c eine halbe niedergehende, im entgegengesetzten Falle eine halbe aufsteigende und die Zeit endlich, die der Körper braucht, um von a nach d oder von d nach a zu kommen, heißt die Dauer der Oscillation.

Nehmen wir zuerst an, die Schnur, an welcher der Körper hängt, sei eine unbiegsame nicht schwere Linie und der Körper selbst ein einziger materieller also schwerer Punct, so haben wir ein ideales, sogenanntes mathematisches Pendel und die Reihenfolge der Erscheinungen würde bei ihm folgende sein.

Hat man es in die Stellung ab gebracht, und läßt man es dann los, so wird es die Gleichgewichtslage bc wieder einzunehmen suchen und der schwere Punct wird den Bogen ac herabfallen. Wir können uns diesen Bogen als aus einer ganzen Menge äußerst kleiner Geraden zusammengesetzt denken, und es ist also gerade so, als fiele der materielle Punct über ebensoviele schiefe Ebenen herab. Während dieses Herabfallens erlangt er eine gewisse Geschwindigkeit, doch ist die Zunahme derselben, die den einzelnen Theilen des zurückgelegten Weges entspricht, nicht gleichförmig, denn je mehr er gegen c hinkommt, um so weniger steil wird die Bahn, es addirt sich zu der bereits erlangten Geschwindigkeit immer weniger und endlich in c gar nichts mehr. Nichtsdestoweniger ist dort die Geschwindigkeit am größten, weil bis dahin fortwährend Zuwachs gekommen ist. Vermöge der Trägheit läuft der Punct über die Gleichgewichtslage in c hinaus und verliert nun zuerst weniger, dann mehr und mehr, bis er endlich in dem eben so hoch als a liegenden d stille steht. Jetzt fällt er wieder, erhält, bis er nach c kommt, die bei dem vorigen Passiren inne gehabte Geschwindigkeit wieder, steigt bis a u. s. w.

Die Gesetze, nach denen die Pendelschwingungen vor sich gehen, sind folgende:

1) Die Zeit, welche ein und dasselbe Pendel zu einer Schwingung nöthig hat, ist bei kleiner Amplitude von dieser selbst unabhängig, es ist gleichgültig, ob die Ampli-

tude 4 Grade oder nur 1 Grad oder auch nur eine Minute beträgt. Man nennt dieses den Isochronismus des Pendels.

2) Die Dauer der Schwingung ist (wenn man den schweren Punct des mathematischen Pendels durch einen schweren Körper ersetzt) unabhängig von dem Gewichte des schwingenden Körpers, unabhängig von dessen Substanz.

3) Bei ungleich langen Pendeln verhält sich die Oscillationsdauer wie die Quadratwurzel der Pendellängen.

Das Gesetz des Isochronismus beruht auf dem Satze, daß alle Sehnen eines Kreises in gleicher Zeit durchlaufen werden (§. 79 Note), denn wenn die eine auch länger ist, als eine andere, so ersetzt sie den Nachtheil durch eine stärkere Neigung gegen den Horizont. Das Pendel geht jedoch nicht auf der Sehne, sondern beschreibt einen Bogen, einen Theil der Peripherie und darum gilt der Satz vom Isochronismus nicht für alle Amplituden, sondern nur für die kleinen, bei denen man den beschriebenen Bogen ohne merklichen Fehler als mit der dazu gehörenden Sehne gleich betrachten kann.

Soll ein Körper in Bewegung gesetzt werden, so ist eine gewisse Kraft dazu nöthig, und um die nämliche Geschwindigkeit für einen schwereren Körper zu erzielen, muß eine um so viel größere Kraft angewandt werden (§. 19). Soll also die Masse des schwingenden Körpers ohne Einfluß sein, so muß die darauf ausgeübte Einwirkung auch der Masse proportional wachsen. Je schwerer daher das Pendel wird, um so größere Kraft wird nothwendig, wenn dasselbe eben so schnell bewegt werden soll als ein leichtes; aber das schwerere Pendel besteht aus einer größeren Menge von materieller Substanz und in Folge dessen wächst auch die treibende Kraft in gleichem Maaße. Der schwingende Körper besteht aus einer Menge von materiellen Theilchen, deren jedes der Anziehung der Erde unterliegt. Anders gestaltet sich die Frage, wenn man verschiedene Stoffe schwingen läßt, denn wenn die Erde auf den einen etwa auf Eisen bei gleicher Menge der es zusammensetzenden materiellen Substanz eine größere Anziehungskraft ausübt als auf einen andern, etwa auf Holz, so müßte letzteres langsamer schwingen, denn die Arbeit, die Bewegung einzuleiten, wäre bei beiden Pendeln gleich, die bewegende Kraft ungleich. Nun hat Bessel mit den verschiedensten Körpern Schwingungsversuche gemacht und daraus gefunden, daß die Schwingungsdauer für alle gleich sei. Es ergibt sich hieraus der Beweis, daß die specifisch schwereren Körper bei gleichem Volumen nicht darum ein größeres Gewicht haben, weil die Erde sie stärker anzieht, sondern weil in demselben Raume mehr Massentheilchen enthalten sind als in dem specifisch leichteren Stoffe.

Nach der Formel 2) §. 70 verhalten sich die Zeiten, welche ein fallender Körper nothwendig hat, um verschiedene Strecken zu durchlaufen, wie die Quadratwurzeln dieser Wege und dieser Satz findet auch auf schiefe Ebenen von unter sich gleicher Neigung seine Anwendung. Würde nun ein Körper über das Polygon abc (Fig. 85) herabfallen, so würde er dazu eine bestimmte

Zeit t nothwendig haben. Ließe man ihn dann über ein anderes Polygon herabfallen, in welchem die einzelnen schiefen Ebenen in gleicher Weise und mit gleicher Neigung gegen den Horizont auf einander folgen wie in dem vorigen, in welchem aber jede einzelne Ebene noch einmal so groß wäre als in dem ersten Polygon, so würde er die Zeit $t\sqrt{2}$ nöthig haben, denn braucht er zu den Ebenen ab und bc die Zeiten t_1, t_2, so bedarf er zu AB und BC die Zeiten $t_1\sqrt{2}$, $t_2\sqrt{2}$ und ist $t_1 + t_2 = t$, so ist

$$t_1\sqrt{2} + t_2\sqrt{2} = t\sqrt{2}.$$

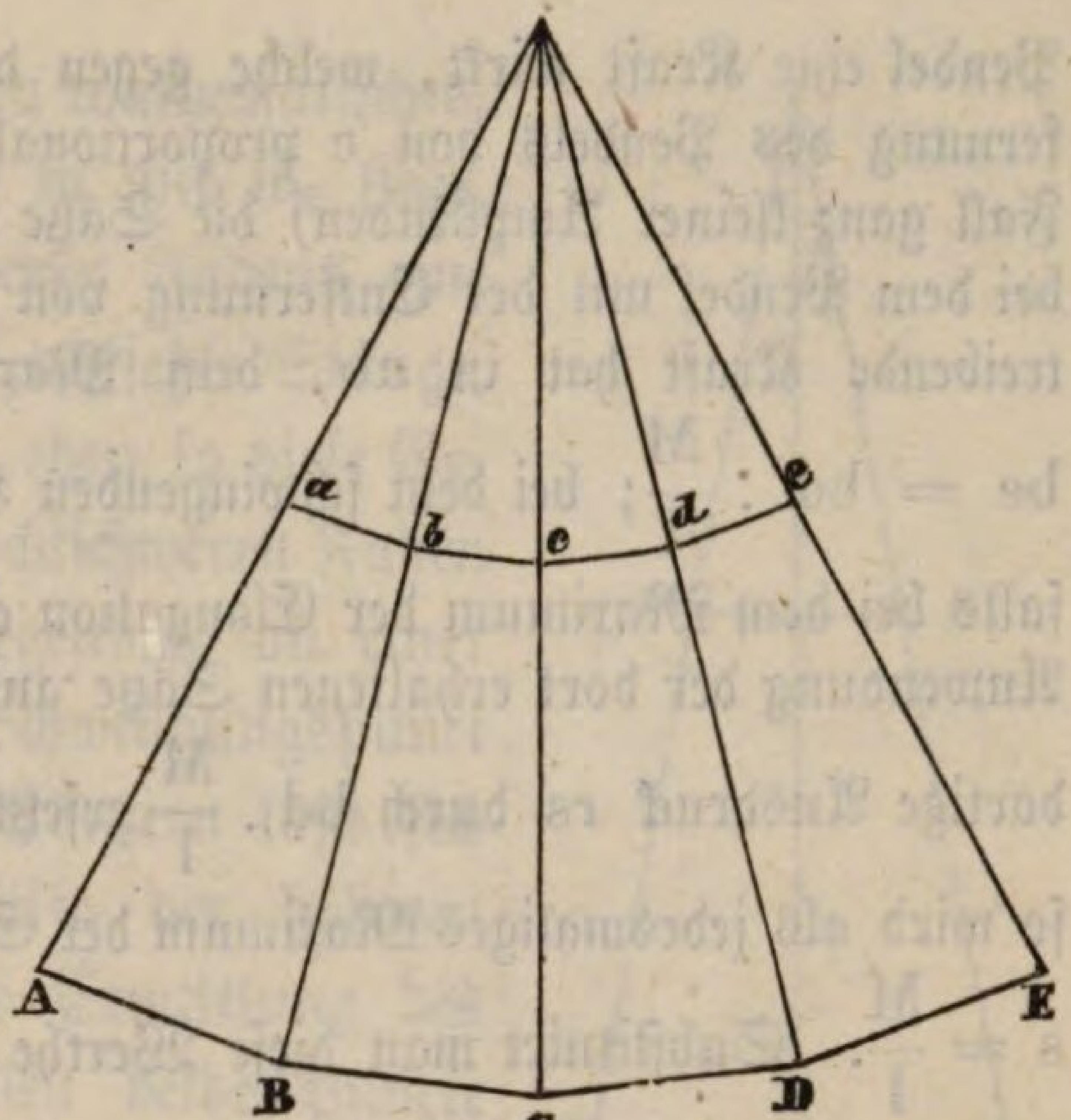


Fig. 85.

Denkt man sich nun 2 Kreisbogen in eine gleiche Anzahl sehr kleiner schiefer Ebenen vertheilt, so werden die beiderseitigen bei der Vergleichung sich zu einander verhalten wie die Radien, und die Zeiten, die ein darüber herabfallender Körper, das Pendel, nöthig hat sie zu durchlaufen, werden sich verhalten wie die Quadratwurzeln der Radien, also der Pendellängen.

Weiß man, wie sich 2 Pendel von verschiedener Länge in Beziehung auf ihre Oscillationsdauer zu einander verhalten, so ist noch nöthig, die Dauer eines solchen von gegebener Länge zu finden, um dann die andern damit vergleichen zu können.

Denkt man sich in b (Fig. 86) die Linse eines Pendels befindlich, so wird deren Gewicht, das wir gleich M setzen wollen, in der Richtung bf abwärts ziehen. Von dieser Wirkung M wird aber wegen der Unausdehnbarkeit des Fadens ab nach dem Satze vom Parallelogramme der Kräfte nur die gegen e wirkende Kraft be als bewegend auftreten können, während bg durch den Widerstand des Fadens aufgehoben wird. Wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke abd und bef ist aber

$$be : bf = bd : ab \text{ oder } \frac{be}{M} = \frac{bd}{l},$$

wenn l die Länge des Pendels bedeutet und

$$be = bd \cdot \frac{M}{l}.$$

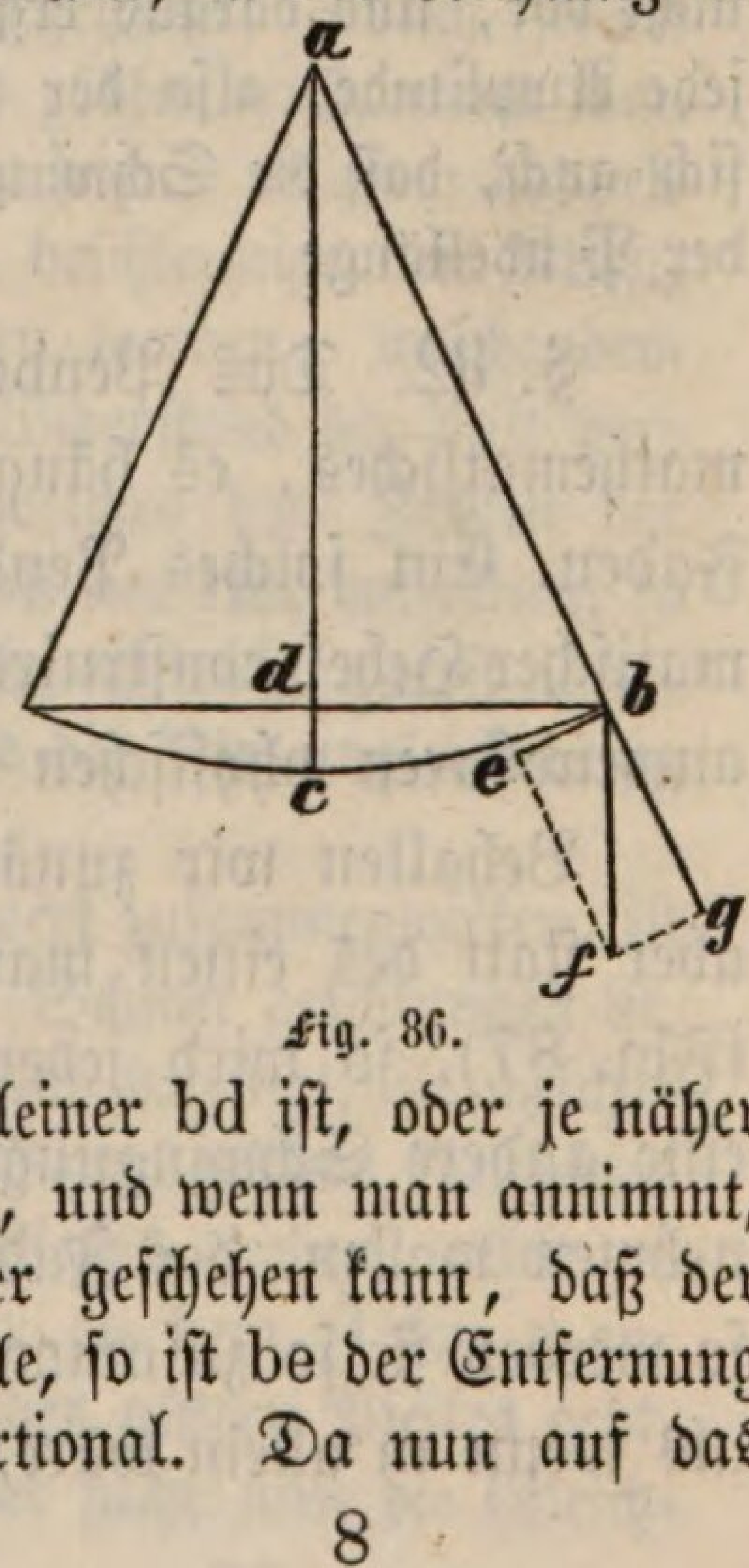


Fig. 86.

Es ist also die Kraft be um so kleiner, je kleiner bd ist, oder je näher die Pendellinse sich an dem Ruhepuncte c befindet, und wenn man annimmt, was bei kleinen Amplituden ohne merklichen Fehler geschehen kann, daß der Bogen bc mit der Sehnenhälfte bd zusammenfalle, so ist be der Entfernung der Linse von dem Puncte der Ruhelage proportional. Da nun auf das

Pendel eine Kraft wirkt, welche gegen den Punct c hinzieht und der Entfernung des Pendels von c proportional ist, so finden (jedoch nur für den Fall ganz kleiner Amplituden) die Sätze des §. 80 ihre Anwendung. Die bei dem Pendel mit der Entfernung von der Gleichgewichtslage abnehmende treibende Kraft hat in ab, dem Maximum der Elongation die Größe $be = bd \cdot \frac{M}{l}$; bei dem schwingenden Körper des §. 80 wurde sie ebenfalls bei dem Maximum der Elongation als $af = rs$ angenommen. Bei der Anwendung der dort erhaltenen Sätze auf die Pendelbewegung muß also der dortige Ausdruck rs durch $bd \cdot \frac{M}{l}$ ersetzt werden. Ist aber $rs = bd \cdot \frac{M}{l}$, so wird als jedesmaliges Maximum der Elongation $r = bd$ und darum auch $s = \frac{M}{l}$. Substituirt man diese Werthe in den Gleichungen I) und II) des §. 80, so erhält man aus I) $V = bd\sqrt{\frac{g}{l}}$,

aus II) $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Es ist übrigens dabei zu bemerken, daß man bei dem Pendel nicht wie bei andern Oscillationen die Zeit, welche verfließt bis der schwingende Körper wieder an dem Puncte angekommen ist, von dem er ausging, als Schwingungsdauer annimmt, sondern die, welche er zum Hingange oder zum Hergange braucht, so daß sich also

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

ergibt. Man sieht aus dieser Gleichung leicht, daß die Größe von T von der Elongation unabhängig ist, denn der Ausdruck bd kömmt in der Gleichung nicht vor, und daraus ergibt sich die Gleichheit der Schwingungsdauer für jede Amplitude, also der Isochronismus des Pendels. Andererseits ergibt sich auch, daß die Schwingungsdauer wächst wie die Quadratwurzel von l, der Pendellänge.

§. 82. Das Pendel, welches wir bisher betrachtet haben, ist ein mathematisches, es hängt ein schwerer Punct an einem nichtschweren Faden. Ein solches Pendel läßt sich aber ebensowenig als ein mathematischer Hebel construiren, und es muß daher Rücksicht auf die allein anwendbaren physischen Pendel genommen werden.

Behalten wir zunächst den gewichtlosen Faden bei, nehmen wir aber statt des einen materiellen Punctes deren 2, nämlich m und m_1 (Fig. 87), so wird jeder derselben dem nun zusammengesetzten Pendel eine andere Schwingungszeit zu geben suchen; da aber wie wir annehmen wollen, der Faden an dem beide sich befinden unbiegsam ist, so werden sie so zusammenwirken, daß das Pendel langsamer schwingt als wenn m allein wäre, und schneller, als wäre nur m_1 da, und das

Resultat ist, als sei das Pendel ein mathematisches, dessen Schwingungspunct zwischen m und m_1 liegt. Hat man nun statt des nichtschweren Fadens eine aus materieller Substanz zusammengesetzte Stange, so kann man deren Theilchen als eben so viele Gewichte betrachten, die an einem nichtschweren Faden sind und die zusammen einen irgendwo an einer Stelle der Stange befindlichen Schwingungspunct besitzen. Bei ganz regelmäßigen Körpern läßt sich dieser Schwingungspunct mit Hülfe der höheren Mathematik finden, wie auch die Ermittlung des Schwerpunctes gelingt, doch fallen beide Puncte nicht zusammen. In den meisten Fällen ist die Gestalt der Pendel eine derartige, daß der Schwingungspunct auch nicht durch die Mathematik gefunden werden kann und man ist daher genöthigt, ihn durch Versuche d. i. durch Beobachtung der Oscillationsdauer zu bestimmen.

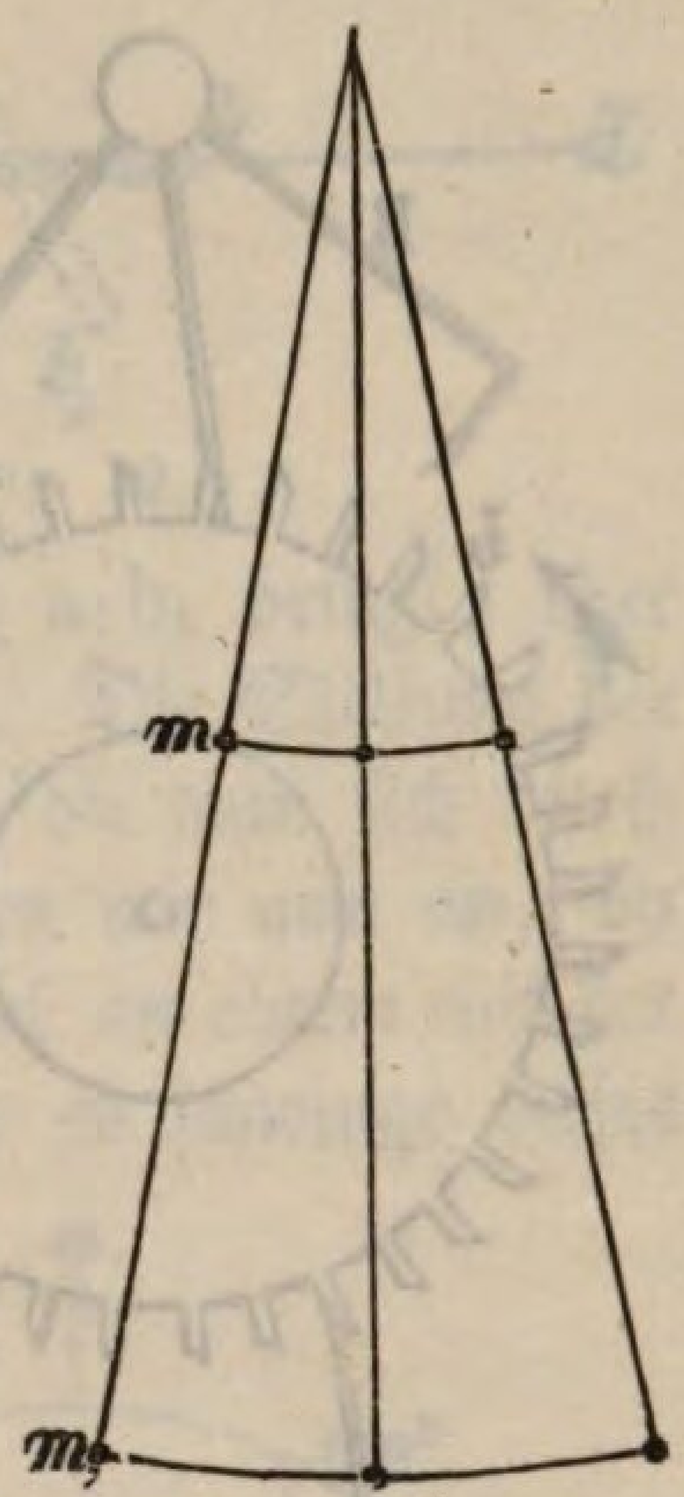


Fig. 87.

Die wichtigste Anwendung, welche von dem Pendel gemacht wird, ist dessen Benützung zur Zeitmessung. Das Pendel braucht zu einer Oscillation eine bestimmte Zeit, zu 2 Oscillationen die doppelte u. s. w. und wenn man daher ein Pendel, dessen Länge man kennt, schwingen läßt und die Schwingungen zählt, so läßt sich die Dauer längerer Zeiträume angeben. Es hat jedoch diese einfachste aller Uhren den doppelten Nachtheil, daß sie des Widerstandes wegen, den die Luft ihrer Bewegung entgegensetzt, endlich stehen bleibt, und daß man sich immer davor hinstellen und zählen muß, wenn man wissen will, wie viele Schwingungen gemacht worden seien. Diesem doppelten Mißstande abzuhelfen muß die Uhr mit einer beschleunigenden Kraft, einem Gewichte oder einer elastischen Feder versehen werden, welche dem Pendel so viel Bewegung ertheilt, als es durch den Widerstand der Luft verliert, und außerdem noch ein Räderwerk treibt, welches das Zählen der Schwingungen besorgt. Würde man das Pendel von der Uhr entfernen, so würde nach den Fallgesetzen das die Räder treibende Gewicht zuerst langsamer, dann immer schneller und schneller fallen, und die Uhr ungleichmäßig gehen.

In welcher Weise das Pendel und das Räderwerk zusammenwirken, ist aus Fig. 88 ersichtlich. An der Axe, um welche die Schnur geschlungen ist, an der sich das Gewicht befindet, ist ein gezahntes Rad befestigt, in welches ein mit dem Pendel verbundener Anker eingreift. Vermöge des Gewichtes würde das gezahnte Rad sich in der Richtung des Pfeiles drehen; allein es wird von dem Arme A des Ankers aufgehalten, der an dem Zahne a angreift. Sobald das Pendel weiter in der Richtung des untern Pfeiles geht, wird a frei und das Rad kann vorwärts, das Pendel sucht nun die Gleich-

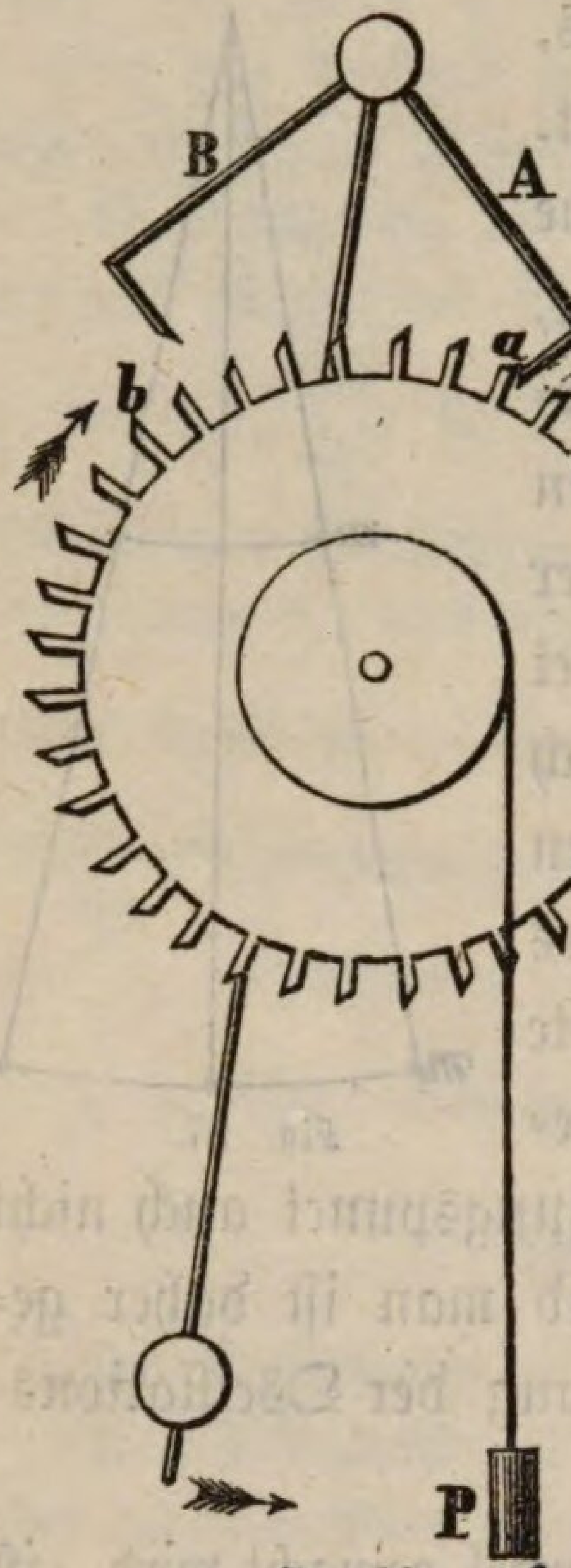


Fig. 88.

gewichtslage einzunehmen, geht auf der andern Seite aufwärts und indem dieses geschieht senkt sich der Ankerarm B, der den Zahn b aufhält. Bei der nächsten Oscillation stößt der Arm A an den a zunächst liegenden Zahn u. s. w. so daß bei jedem Hin- und Hergehen des Pendels das Rad um einen Zahn vorwärts rückt. Das Pendel braucht immer dieselbe Zeit zur Oscillation, und dadurch wird der Gang der Uhr gleichmäßig. Geht letztere zu langsam, so wird das Pendel verkürzt, d. h. man schiebt die Linse in die Höhe; läuft sie vor, so wird die Linse abwärts geschoben. Die erste Pendeluhr wurde 1658 von dem holländischen Physiker Huyghens construirt.

Bei Taschenuhren wird das Gewicht durch eine gespannte Stahlfeder, das Pendel durch die Balance ersetzt, d. h. durch einen Metallring, welcher von einer vermöge ihrer Elasticität um ihre Gleichgewichtslage schwingenden Spiralfeder bewegt wird.

Mit Hülfe der Gleichung $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (§. 81) gibt das Pendel ein sehr bequemes und genaues Mittel, die Größe der beschleunigenden Kraft der Schwere zu erhalten. Man erhält nämlich aus derselben sehr leicht

$$g = \frac{l\pi^2}{t^2}$$

und daraus läßt sich g finden, wenn l und t bekannt sind, d. i. wenn man weiß, wie oft ein Pendel von bekannter Länge in einer bestimmten Zeit schwingt. Auf diese Weise wurde für Paris gefunden

$$g = 9.8088 \text{ Meter} = 30.196 \text{ par. Fuß.}$$

Es ist wie bereits §. 81 erwähnt gleichgültig, aus welchem Material das Pendel construirt sei, aber es ist darum nicht gleichgültig, an welchem Orte der Erde man die Versuche anstelle. Da nämlich nach §. 74 an dem Aequator wegen der Centrifugalkraft die Anziehung der Erde geringer ist als am Pole, so muß mit abnehmender Breite auch der Werth von g geringer werden, und eine Pendeluhr, die man aus der höheren Breite in die niedrigere bringt, wird unter sonst gleichen Umständen an dem neuen Orte zu langsam gehen, während sie in umgekehrter Richtung transportirt vorläuft. Dieser Umstand läßt sich wieder dazu benützen, die Größe der Abplattung der Erde zu bestimmen.

In neuerer Zeit hat Foucault in Paris das Pendel dazu benützt, um einen directen Beweis für die Axendrehung der Erde zu liefern. Befestigt man einen schwingenden schweren Körper mittelst eines feinen Fadens an einem horizontalen Stabe, so wird er die einmal eingenommene Schwing-

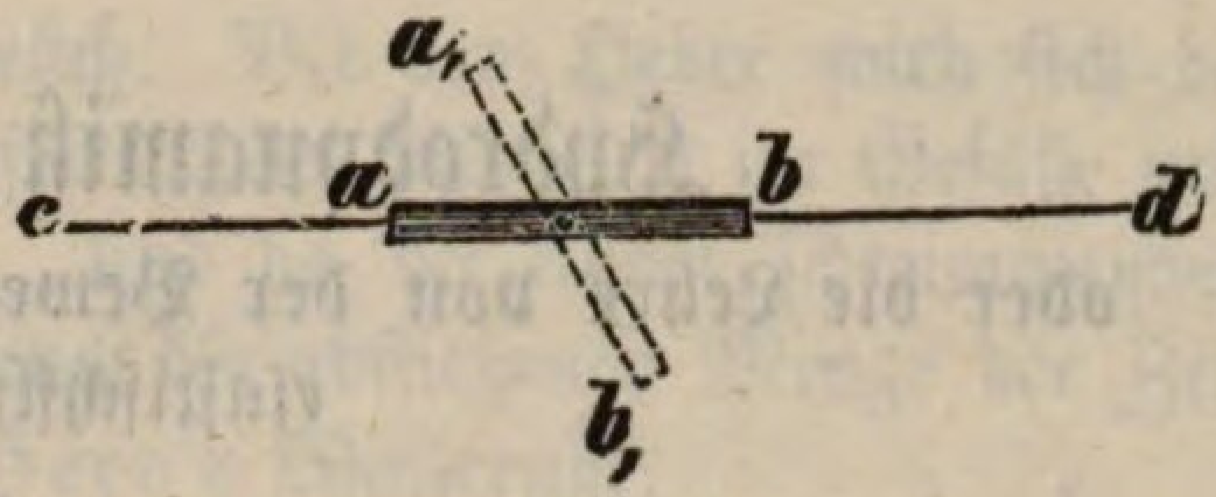


Fig. 89.

ungsebene beibehalten, wenn man auch den Stab in horizontaler Richtung, also um eine verticale Axe dreht. Ist z. B. (Fig. 89) ab von oben gesehen der Stab, cd die Richtung, in welcher das Pendel hin- und hergeht, so wird die letztere dieselbe bleiben, wenn man den Stab ab in die Stellung a_1b_1 bringt, oder wenn man ihn auch einen ganzen Kreis beschreiben läßt. Die Stellung der Schwingungsebene des Pendels gegen die Verticalebene, die man sich durch den Stab gelegt denken kann, ändert sich daher. Nehmen wir nun an, an einem Pole, etwa dem Nordpole der Erde, sei ein Pendel an einem mit der Erde fest verbundenen horizontalen Stabe befestigt und es schwinge dieses zwischen 0° und 180° (Fig. 90) hin und her, so wird es, wenn die Erde sich in der Richtung des Pfeiles dreht, und nach Verlauf von 4 Stunden der Punct 60° die Stelle einnimmt, an welcher vorher 0° war, nunmehr zwischen 60° und 240° hin- und hergehen und je weiter die Umdrehung der Erde fortschreitet, um so mehr wird das Pendel seine Schwingungsebene in der entgegengesetzten Richtung gedreht zu haben scheinen. An dem Pole beträgt diese scheinbare Drehung stündlich 15°. Bringt man das Pendel an den Aequator, etwa an die Stelle a, so wird es bei der Umdrehung der Erde mit a herumgeführt, und dort findet man auch die scheinbare Drehung der Schwingungsebene nicht, denn gesetzt, sie liege in der Ebene des Papieres, so sieht man leicht, daß daran nichts geändert wird, wenn auch a an eine andere Stelle der Peripherie des Kreises gebracht wird. Fällt also die Gleichgewichtslage des Pendels mit der Rotationsaxe der Erde zusammen, so dreht sich seine Schwingungsebene in 24 Stunden scheinbar um 360 Grade, also stündlich um 15 Grade; steht dagegen die Gleichgewichtslage senkrecht auf der Richtung der Erdaxe, so findet gar keine scheinbare Drehung statt. Die Puncte zwischen beiden Extremen, die Breiten zwischen 90° und 0° zeigen das Phänomen mehr oder weniger stark, je nachdem sie dem einen oder andern nahe liegen. Bezeichnet man mit φ die geographische Breite eines Ortes, so gibt $15^\circ \sin\varphi$ die Größe des Winkels, um welchen sich die Schwingungsebene des Pendels dort in einer Stunde zu drehen scheint.

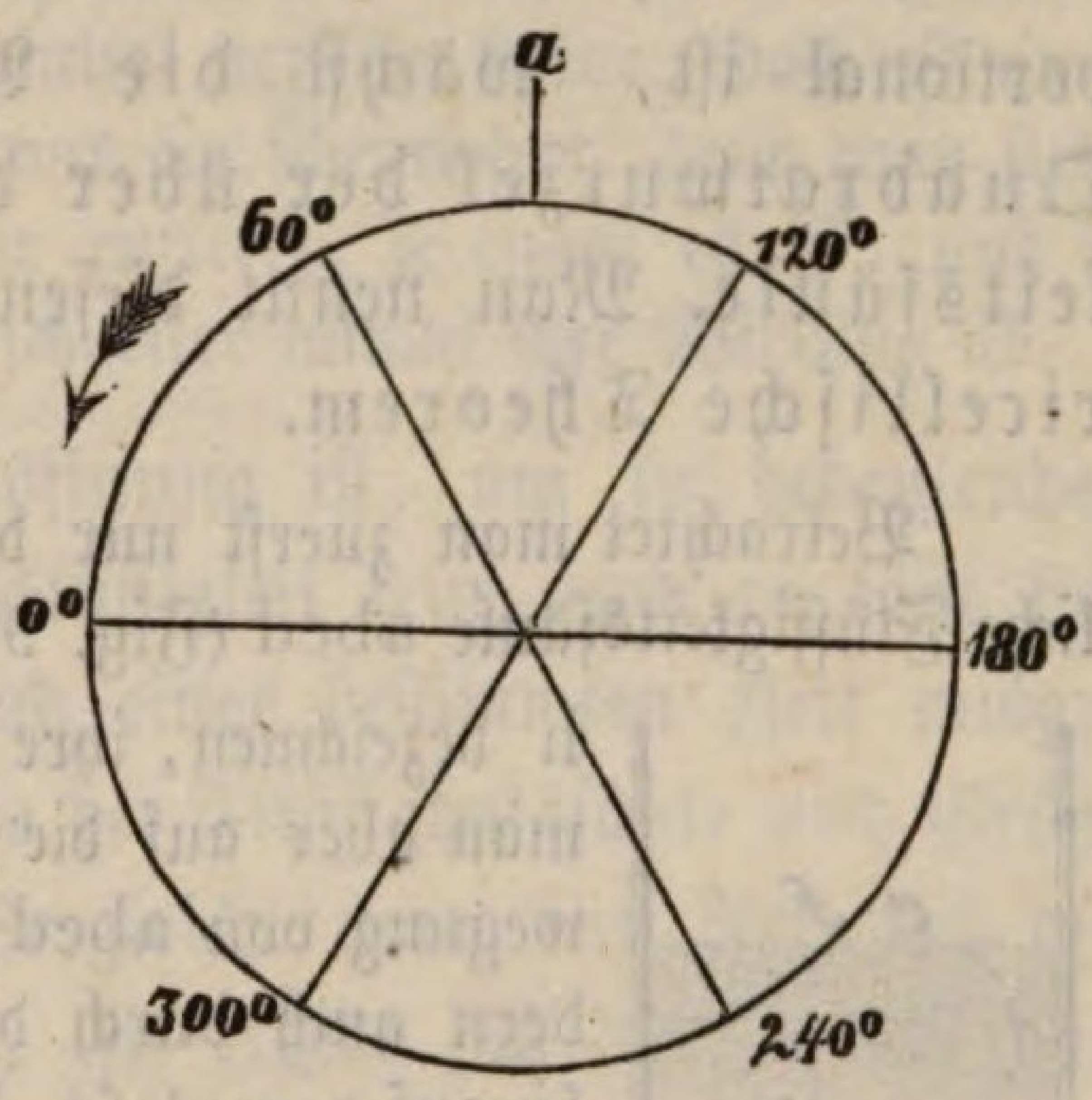


Fig. 90.

Hydrodynamik und Aerodynamik

oder die Lehre von der Bewegung der tropfbarflüssigen und der elastischflüssigen Körper.

§. 83. Wenn Wasser oder eine andere tropfbare Flüssigkeit aus einer engen Oeffnung des Bodens eines Gefäßes ausfließt, so läuft es mit einer Geschwindigkeit, welche derjenigen gleichkommt, die ein Körper im freien Falle von der Oberfläche bis zur Ausflußöffnung erlangen würde, und da nach §. 70 die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers der Quadratwurzel des zurückgelegten Raumes proportional ist, wächst die Ausflußgeschwindigkeit wie die Quadratwurzel der über der Oeffnung stehenden Flüssigkeitssäule. Man nennt diesen Satz nach seinem Entdecker das Toricellische Theorem.

Betrachtet man zuerst nur die unmittelbar über der Oeffnung befindliche Flüssigkeitssäule abcd (Fig. 91), so würde, wenn wir ihre Höhe ac mit

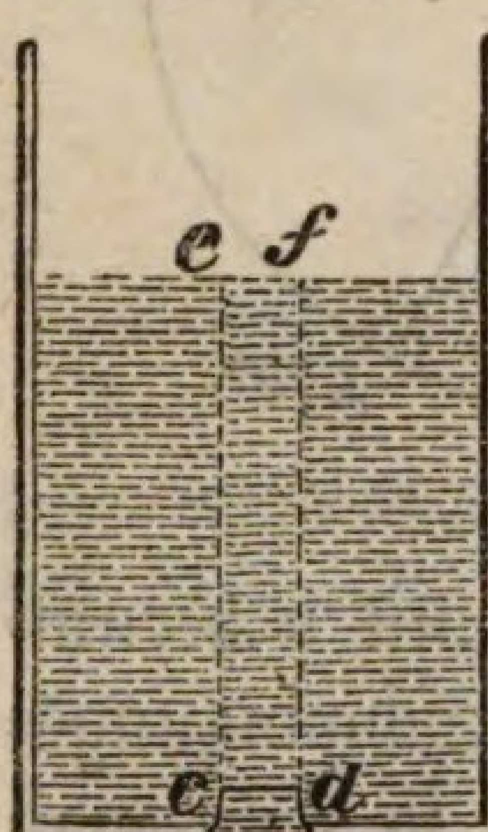


Fig. 91.

h bezeichnen, ihre Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gh}$ sein; geht man aber auf die gesammte Flüssigkeit über, so ist die Bewegung von abcd nicht nur durch die eigene Schwere, sondern auch durch den Druck der gesammten Schichten bis e hinauf veranlaßt, denn es fällt nicht nur selbst heraus, sondern wird vermöge der darüber lastenden Flüssigkeitsschichten herausgepreßt, und der Erfolg ist derselbe, als hätte die Wirkung der Schwere g einen andern höhern Werth g′; wenn aber der Fall eines Körpers durch eine größere Kraft eingeleitet wird, so muß auch dessen Geschwindigkeit eine andere werden, und wir bekommen diese, wenn wir in der Gleichung 2″) des §. 70 die Größe g durch die neue g′ ersetzen. Wir bekommen daher $v' = \sqrt{2g'h}$. Der Druck, der auf abcd lastet, wächst aber (§. 46) mit der Höhe, und es verhält sich, wenn wir ae mit h′ bezeichnen

$$g : g' = h : h',$$

woraus sich $g' = \frac{gh'}{h}$ ergibt, und wenn dieser Werth von g′ in die Gleichung $v' = \sqrt{2g'h}$ gesetzt wird, erhält man $v' = \sqrt{\frac{2ghh'}{h}} = \sqrt{2gh'}$. Diese Geschwindigkeit ist aber gerade so groß als die eines Körpers, der von der Höhe h′ herabgefallen ist, wie sich dieses aus der Vergleichung der vorstehenden Formel mit der Formel 2″) des §. 70 ergibt, wenn man dort statt s den Werth h′ setzt.

Entleert sich das Gefäß nach und nach, so wird die Druckhöhe und damit auch die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers eine geringere; sorgt man aber dafür, daß die Flüssigkeitssäule immer gleich hoch bleibt, so

wird auch die Geschwindigkeit unveränderlich. Bei dem Heber wird sich die Ausflußgeschwindigkeit nach der Höhendifferenz des Niveau's im Gefäße und der Ausflußöffnung des Hebers regeln, und da bei einem schwimmenden Heber diese Differenz constant ist, wird auch die abfließende Menge der Zeit proportional sein. Hierauf gründet sich Hero's Wasseruhr.

Vergleicht man die drei in den Figuren 42, 43 und 44 dargestellten Gefäße, so ergibt sich, daß wenn in dem Boden eines jeden eine Oeffnung gemacht würde, bei der in allen 3 Gefäßen gleichen Höhe der Flüssigkeitssäule auch eine gleiche Geschwindigkeit des austretenden Wassers die Folge wäre, und wenn man das austretende Wasser auf einen unter der Oeffnung befindlichen Gegenstand stoßen ließe, wäre die Wirkung allenthalben dieselbe. Es würde sich hieraus ergeben, daß man je nach der Wahl des Gefäßes mit verschiedenen Quantitäten das gleiche Resultat erzielen könne; doch ist auch hier der Vortheil der oben engen Gefäße nur ein scheinbarer, denn man sieht leicht, daß sich ein Gefäß um so schneller entleert, je enger es ist, und je weniger Flüssigkeit vorhanden ist, um so schneller nimmt ihre Wirkung ab.

§. 84. Je größer die Ausflußöffnung ist, um so bedeutender muß die Menge der ausdringenden Flüssigkeit sein, und es läßt sich leicht berechnen, wie groß die während einer bestimmten Zeit ausgetretene Menge derselben sei, wenn Höhe der Flüssigkeitssäule und Größe der Ausflußöffnung gegeben sind. Vergleicht man das Resultat der Rechnung mit dem der Beobachtung, so ergibt sich bald, daß das wirklich ausgetretene Wasser im höchsten Falle 62—65 Procente der berechneten Menge beträgt. Dieser Verlust rührt davon her, daß, wie dieses Fig. 92 versinnlicht, nicht alles Wasser im senkrechten Falle die Oeffnung ab passirt, sondern ein Theil auch von der Seite herkommt. Diese Seitenwirkungen verursachen eine Verzögerung des Falles, und sie sind auch Ursache daß der Strahl alsbald unter der Oeffnung in cd sich etwas zusammenzieht, von wo an, da jetzt die Seitenbewegungen sich gegenseitig aufgehoben haben, der eigentliche senkrechte Fall beginnt. Es wäre daher strenge genommen der Querschnitt bei cd bei der Berechnung der Ausflußmenge als Größe der Oeffnung zu nehmen, und wenn man an ab ein conisches Rohr von der Gestalt abcd befestigt, so erhält man als Ausflußmenge 97 Procente der berechneten Quantität. Der geringe Verlust von 3 Procenten, der noch übrig bleibt, ist der Reibung und der Adhäsion des Wassers an der Röhre beizumessen. Setzt man an das Rohr abcd noch ein anderes ebenfalls conisches an, welches sich

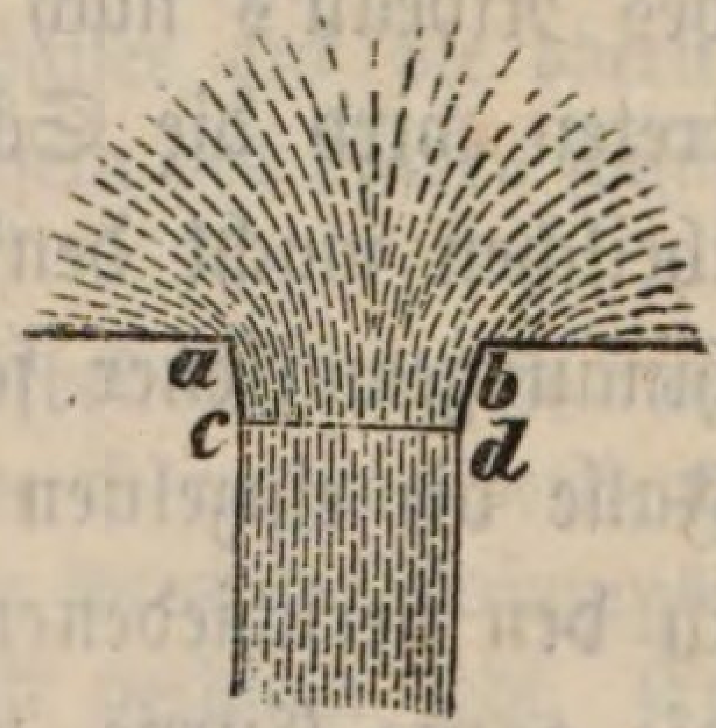


Fig. 92.

aber abwärts etwas erweitert, so wächst die Ausflußmenge. Die Adhäsion des Wassers an das Rohr macht, daß der Strahl etwas weiter wird und so das ganze Rohr ausfüllt, wobei die Flüssigkeit beinahe ihre ganze in cd erlangte Geschwindigkeit beibehält. Soll nun das Wasser mit der Geschwindigkeit unterhalb cd einen weiteren Querschnitt passiren und dennoch denselben ganz ausfüllen, so muß der Wasserfaden brechen und es entsteht im Innern der Röhre ein luftleerer Raum; diesem aber widersetzt sich der außen wirkende Luftdruck, welcher dadurch abhilft, daß er zum Theile das oberhalb cd befindliche Wasser beschleunigt, zum Theile das unterhalb befindliche verzögert. Daß diese Erklärung die richtige sei, beweist der Umstand, daß im luftleeren Raume derartige Ansatzröhren keine Vergrößerung der Ausflußmenge bewirken.

Ist der Reibungswiderstand an der Ausflußmündung unvermeidlich, und zeigt er sich in der Verminderung der Geschwindigkeit, wenn zu seiner Verhütung alle Sorgfalt aufgeboten wurde, so wird er viel stärker bemerkbar sein, wenn eine Flüssigkeit durch lange enge Röhren fortgeleitet wird, und in diesem Falle ist die beobachtete Ausflußmenge oft nicht die Hälfte der berechneten.

§. 85. Da der Druck sich in Flüssigkeiten nach allen Seiten fortpflanzt, wird durch eine seitliche Oeffnung des Gefäßes das Wasser mit derselben Geschwindigkeit austreten, mit der es bei gleicher Höhe des Niveau's nach abwärts gegangen wäre. Alsbald nach dem Austreten wird die Schwere ihren Einfluß äußern und jedes Flüssigkeitstheilchen macht denselben Bogen, den ein mit gleicher Kraft horizontal hinausgeworfener fester Körper beschreiben würde. Da in dem jetzigen Falle die einzelnen hinter einander her kommenden Wassertheilchen sich in den verschiedenen Stadien ihrer Bewegung befinden, so erblickt man die ganze Curve, welche den einen Ast einer Parabel c_1e_1 (Fig. 75) bildet. Ist die Ausflußöffnung nach oben gerichtet, so geht auch der Wasserstrahl in die Höhe, und da die Flüssigkeit mit derselben Geschwindigkeit austritt, welche sie bei freiem Falle von der Höhe des Niveau's bis zur Austrittsstelle erlangt hätte, so muß sie auch nach dem Austritte dem §. 71 zufolge eben so hoch steigen. Theoretisch genommen soll also das Wasser eines Springbrunnens dieselbe Höhe erreichen, die es im Reservoir besaß, aus dem der Brunnen gespeist wird. In der Praxis ist die Höhe des Springbrunnens etwas niedriger, weil die unvermeidlichen Reibungswiderstände an der Ausfluß-

öffnung sowie der Widerstand der Luft die Geschwindigkeit beeinträchtigen. Geht die Richtung eines Springbrunnens genau senkrecht, so entsteht ein neues Hinderniß der Bewegung dadurch, daß das herabfallende Wasser auf dasjenige fällt, welches das Maximum seiner Höhe noch nicht erreicht hat.

§. 86. Wenn das Wasser sich bewegt, so wird es eine den Verhältnissen, unter denen es sich bewegt, entsprechende Geschwindigkeit erlangen. Stellt sich ihm dann ein Körper in den Weg, so übt es einen Druck auf denselben aus und theilt ihm, wenn derselbe beweglich ist, seine Bewegung mit. Hat eine gegebene Menge von Wasser etwa ein Zentner eine Geschwindigkeit, die einer Fallhöhe von 24 Fuß entspricht, so muß die so in ihm enthaltene Kraft von 2400 Fußpfunden (§. 79), wenn sie ganz auf den andern Gegenstand übergeht, wieder einen Zentner 24 Fuß oder einen halben 48 Fuß u. s. w. zu heben im Stande sein. Eine Wirkung des Wassers von 450 Fußpfunden oder 75 Kilogramm-Metern in der Secunde wird einer Pferdekraft gleich geschätzt.

Man macht von der Verwendbarkeit der Kraft des fließenden Wassers einen außerordentlich häufigen Gebrauch, indem man dasselbe zum Treiben von Maschinen verwendet. Man setzt dem Wasser ein Rad entgegen, das an der Peripherie mit Schaufeln versehen ist und sich um seine Axe drehen läßt. Indem das Wasser auf die Schaufeln stößt, dreht es das Rad, und dieses erlangt dabei ein angemessenes Quantum der bewegenden Kraft, welche nun beliebig verwendet werden kann. Je nachdem das Wasser auf die obern, untern oder auf die in mittlerer Höhe befindlichen Schaufeln des Rades stößt, heißt letzteres ober-, unter- oder mittelschlächtig.

Verwendet man die Wasserkraft zu irgend einer Arbeitsleistung, so darf nicht übersehen werden, daß das Wasser nicht alle seine Bewegung verliert, daß es mit dem Reste abfließen muß, und daß außerdem durch die Reibungswiderstände in dem Rade noch ein Theil der Arbeitskraft verloren geht. Es ist schon als ein günstiges Ergebniß zu betrachten, wenn die Maschine die Hälfte von dem leistet, was sie ohne Abzug dieser Verluste, also im idealen Falle leisten sollte.

Durch Fourneyron wurde auch das horizontale Wasserrad oder die Turbine in die Praxis eingeführt. Bei diesem wird das Wasser von oben durch ein Rohr auf einen horizontalen Teller A (Fig. 93) geleitet, der mit verticalen Leitcurven (bb) versehen ist. Während die Scheibe A unbeweglich ist, befindet sich außerhalb derselben und concentrisch mit ihr eine zweite ebenfalls mit Leitcurven versehene um die Axe C drehbare Scheibe B. Denkt man sich nun das Wasser vertical auf die Platte A eindringend, so würde es für sich nach den Seiten entweichen; es stößt aber dort auf die Scheibe B

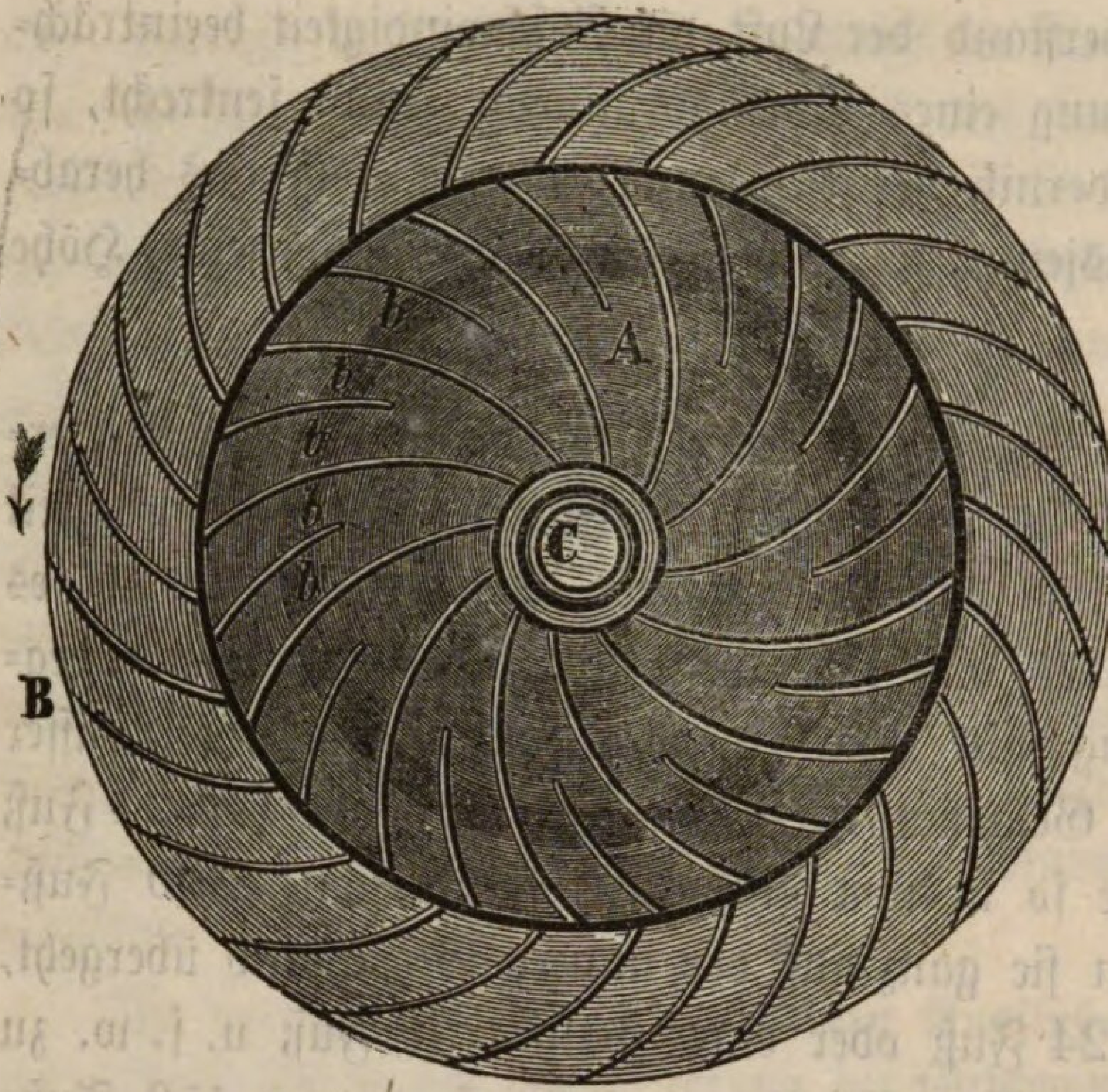


Fig. 93.

und diese wird daher um die Axe C in der Richtung des Pfeiles gedreht. Die Leitlinien dienen dazu, dem seitwärts dringenden Wasser eine Richtung zu geben, in welcher es die größtmögliche Wirkung auf B ausübt.

Eine gut construirte Fourneyron'sche Turbine kann einen Nutzeffect von 75 Procent des theoretischen geben.

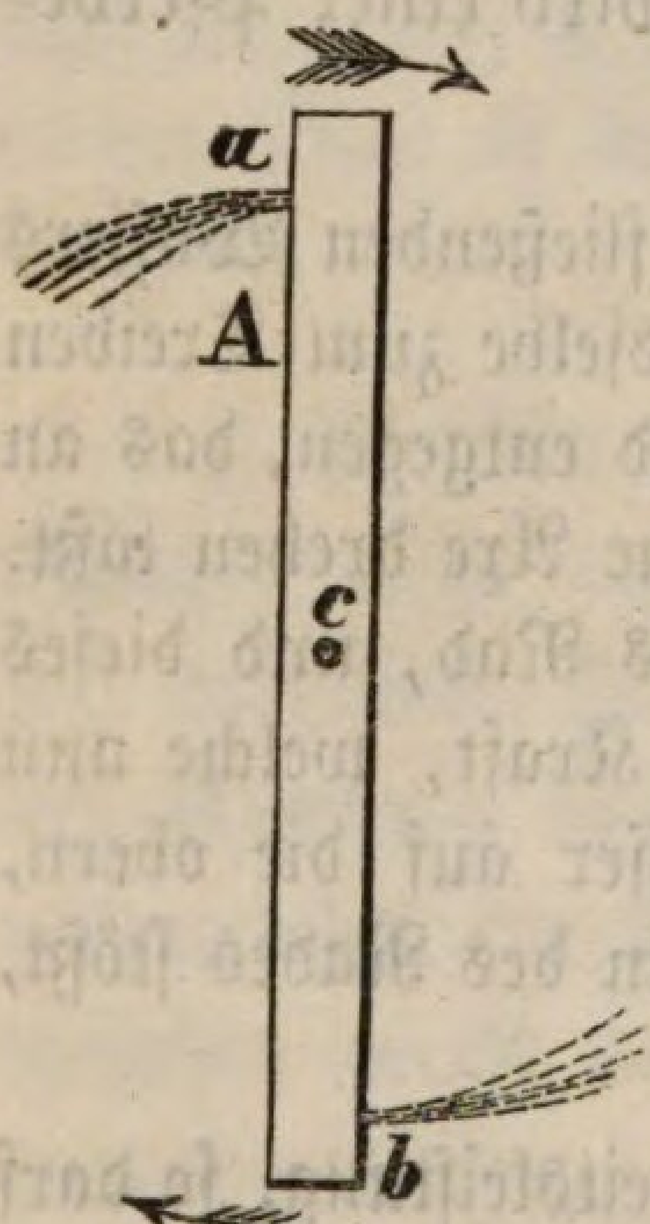


Fig. 94.

Wenn aus dem um c (Fig. 94) drehbaren Rohre A durch die Oeffnungen a und b Wasser entströmt, so bewegt es sich in der Richtung der Pfeile um seine Axe. Die Ursache ist dieselbe, welche die Kanone nach abgefeuertem Schusse nach rückwärts treibt, wovon bereits §. 79 gesprochen wurde. Auch diese Art von Rädern wird zum Treiben von Maschinen benützt, man heißt sie Segner'sche Wasserräder oder Reactionsturbinen.

§. 87. Bei den Luftarten finden rücksichtlich ihrer Bewegung ganz analoge Vorgänge statt, wie sie bei den tropfbaren Flüssigkeiten beobachtet werden, denn auch sie üben einen Druck aus, der sich nach allen Richtungen fortpflanzt, auch ihre kleinsten Theilchen sind in hohem Grade beweglich. Die Gase unterscheiden sich aber von den tropfbaren Flüssigkeiten durch ihr Vermögen, ihr Volumen zu vergrößern, so daß sie keine eigentliche Oberfläche haben, und da die Höhe der letzteren über der Ausflußöffnung bei deren Bewegung eine Hauptrolle spielt, so muß dieselbe für die Gase erst aus dem Drucke, den sie ausüben, berechnet werden, was sich einfach daraus ergibt, daß die Höhe einer Luftsäule um soviel mal größer sein muß, als die einer den gleichen Druck ausübenden Wassersäule, als ihre Dichtigkeit von der des Wassers übertroffen wird. Ist die Luft an der Oberfläche der Erde 770 mal leichter als das Wasser, so übt eine homogene Säule davon, die 770 mal höher ist als eine gegebene

Wassersäule, denselben Druck aus wie diese. Hat man so die Höhe der Luftsäule berechnet, so verhalten sich die Geschwindigkeiten der aus 2 Gefäßen in den leeren Raum austretenden Luft zu der des Wassers dem Volumen nach wie die Quadratwurzeln aus den Höhen beider Säulen. Steht die Luft unter einem geringeren etwa dem halben Drucke, so ist sie auch nur halb so dicht, und wenn man die nunmehrige Höhe der Luftsäule berechnet, ergibt sich, daß dieselbe eben so groß ausfallen muß, als im vorigen Falle, denn bei halber Dichtigkeit ist die ganze Höhe der früheren Säule nöthig, um den halben Druck auszuüben, und es folgt daraus, daß bei dem Uebertritte in den leeren Raum stets dasselbe Volumen in gleicher Zeit austritt, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daß in der dünneren Luft das gleiche Volumen weniger materielle Theilchen enthält, als in der dichteren. Hat man mit Gasen von verschiedener Dichtigkeit zu thun, so wird die Säule des dichteren Gases sich um so niedriger berechnen, je größer das specifische Gewicht desselben ist, und die Austrittsgeschwindigkeit nimmt ab, wie das Quadrat der Dichtigkeit wächst.

Auch bei den Gasen tritt wie bei den Flüssigkeiten eine Verengerung des Strahles außerhalb der Austrittsöffnung ein, und die berechnete Menge des ausgetretenen Gases ist daher größer als die durch den Versuch gefundene. Diese Verengerung des Strahles ist jedoch nicht wie bei den Flüssigkeiten für jeden Druck die gleiche, sondern wächst, wenn der letztere größer wird.

Bei Flüssigkeiten ist nach §. 82 die Austrittsgeschwindigkeit $v = \sqrt{2gh'}$. Ist nun h′ die Höhe der Flüssigkeitssäule und d die Dichtigkeit des Gases im Vergleiche mit der Flüssigkeit, so wird die Gassäule sich um so höher berechnen, je kleiner der Werth von d ist, sie ist daher $= \frac{h'}{d}$, und es ergibt sich daraus $v' = \sqrt{2g\frac{h'}{d}}$.

Bei mittlerem Barometerstand entspricht der Luftdruck dem Drucke einer Wassersäule von 10.4 Meter, woraus sich eine Luftsäule von

$$10.4 \times 770 = 8008 \text{ Metern}$$

berechnet, und da g = 9.8 Meter, so ergibt sich

$$v' = \sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot 8008} = 396 \text{ Meter}.$$

Wäre der Luftdruck nur 5.2 Meter Wasserhöhe entsprechend, so würde die Dichtigkeit der Luft nur $\frac{1}{1540}$ des Wassers betragen; da aber

$$1540 \cdot 5{,}2 = 770 \cdot 10{,}4 = 8008,$$

so ist bei Anwendung des halben Luftdruckes die Geschwindigkeit die gleiche.

Hat das ausfließende Gas die Dichtigkeit d′, so ist seine Ausflußgeschwindigkeit $v'' = \sqrt{2g\frac{h'}{d'}}$ und da für ein Gas von der Dichtigkeit d $v' = \sqrt{2g\frac{h'}{d}}$, so ergibt sich

$$v' : v'' = \sqrt{2g\frac{h'}{d}} : \sqrt{2g\frac{h'}{d'}} = \sqrt{d'} : \sqrt{d}.$$

Fließt die Luft nicht in den leeren Raum, sondern in einen andern, der mit Luft von 10.4 Meter Pressung erfüllt ist, so wird ihre Geschwindigkeit von der Differenz beider Drucke abhängen, wie auch bei dem Uebertreten von Wasser aus dem einen Gefäße in's andere nur die Differenz der beiden Flüssigkeitssäulen in's Spiel kommt. Die Geschwindigkeit der Luft wird also ausgedrückt durch $v = \sqrt{2g\frac{H}{D}}$, wenn H den Unterschied der Drucke und D die nunmehrige Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft angibt. Bezeichnet man mit f den Querschnitt der Austrittsöffnung, so gibt $f\sqrt{2g\frac{H}{D}}$ die Menge des in einer Secunde austretenden Gases; dieser Ausdruck muß jedoch, wenn er der Praxis angepaßt werden soll, wegen der oben erwähnten Contraction des Strahles noch mit einem Coëfficienten μ multiplicirt werden, der erst durch Versuche bekannt werden kann.

Ist der innere Druck um 0.003, 0.010, 0.050 größer als der äussere, so hat nach neueren Versuchen μ beziehungsweise die Werthe 0.71, 0.65, 0.58.

Molecular-Statik

oder die Lehre vom Gleichgewichte der kleinsten Theile der Körper.

§. 88. Wenn die Schwerkraft die einzige wäre, welcher die materielle Welt unterworfen ist, so wäre es nach §. 20 ganz unmöglich, daß es einen porösen Körper gäbe, denn die kleinsten Theilchen eines jeden derselben würden sich so lange anziehen, bis sie in unmittelbare Berührung mit einander kämen, und es wäre eine Porosität nur noch insoferne denkbar, als möglicherweise die Gestalt der kleinsten Theilchen ihnen nicht gestattet, einen gegebenen Raum vollständig auszufüllen, wie dieses z. B. bei einem Haufen von Kugeln der Fall ist.

Ein solcher Körper wäre nicht mehr zusammendrückbar, da aber die Veränderlichkeit des Volumens bei allen Körpern stattfindet, so müssen wir annehmen, daß außer der Schwere noch etwas anderes wirkt, welches eben die unmittelbare Aneinanderlagerung verhindert. Die Erscheinungen des Lichtes, der Wärme u. s. w. weisen darauf hin, daß es außer den der Schwere gehorchenden Körpern, der materiellen Substanz im engeren Sinne, noch einen andern Stoff gibt, bei dem gegenseitige Abstoßung der kleinsten Theile stattfindet. Man nennt diesen andern Stoff Aether (§. 23), und denkt sich seine kleinsten Theilchen als viel kleiner als die der schweren Substanz. Die Aethertheilchen stoßen sich also ab und können daher nie für sich allein einen Körper von meßbarer Ausdehnung bilden, sie werden aber von den schweren Theilchen angezogen und bilden in ähnlicher Weise Hüllen um deren Molecüle, wie es der Stoff thut, der als atmosphärische Luft unsere Erde umgibt. Nach welchem Gesetze sich diese Abstoßung und Anziehung regelt, läßt sich zur Zeit nicht angeben. Denkt man sich ein mit einer Aetherhülle umgebenes Massentheilchen, und fragt man nach der Wirkung, die dasselbe auf ein in einiger Entfernung befindliches freies Aethertheilchen ausübt, so wird letzteres von dem Kerne, dem Massentheilchen angezogen, von der Hülle, dem Aether abgestoßen; es wird jetzt davon abhängen, welche der beiden Wirkungen die größere ist, und das Aethertheilchen wird sich je nach Umständen nähern oder entfernen. So viel sich aus den Beobachtungen entnehmen läßt, kann man wenigstens für die Himmelskörper annehmen, daß sie auf den im Weltenraume befindlichen freien Aether keine Einwirkung ausüben, sie sind mit so viel davon umgeben, daß die Anziehung, welche ihre Massentheilchen ausüben, der Abstoßung, welche von deren Hüllen ausgeht, gleich ist, denn wäre die Anziehung größer, so müßte der Aether des Weltenraumes um die Gestirne herum dichter, im entgegengesetzten Falle dünner sein, als in größerer Ferne. Ein derartiger Zustand würde sich in den Erscheinungen des Lichtes bemerkbar machen, und da er nicht vorhanden ist, muß man annehmen, daß wenigstens jeder Himmelskörper im Ganzen genommen mit Aether gesättigt ist und keine Einwirkung mehr auf die im Weltenraume befindlichen freien Theilchen desselben ausübt.

§. 89. Untersucht man die gegenseitige Wirkung der Massentheilchen mit ihren Hüllen, so hat man bei diesen eigentlich nicht eine bloße Anziehung, sondern es ist damit auch eine Abstoßung der beider-

seitigen Hüllen verbunden, deren Wirkung von der sonstigen Anziehung abzuziehen ist. Die Beobachtung lehrt nun, daß die Gesammtwirkung in den verschiedenen Entfernungen wechselt. Sind 2 Körper weit von einander entfernt, so ziehen sie sich mit einer Kraft an, welche abnimmt, wie das Quadrat der Entfernungen wächst (Newton'sches Gravitationsgesetz); sind sie einander sehr nahe, so nimmt die Anziehung ab, wird Null und geht dann bei mehr und mehr abnehmender Entfernung in eine mehr und mehr wachsende Abstoßung über.

Die einzelnen Massentheilchen können von verschiedener Größe und Gestalt sein, es können möglicherweise noch andere Verschiedenheiten derselben vorkommen, und die Folge davon wird ein abweichendes Verhalten gegen den Aether und gegen einander sein, die einen können sich den andern mehr nähern, andere weniger u. s. w. und dadurch wird eine Manchfaltigkeit der einzelnen Körper erzielt, mit deren Untersuchung sich ein eigener Zweig der Naturwissenschaften, die Chemie beschäftigt. Eine chemische Verbindung ist eine nähere Gruppirung verschiedenartiger je mit Aetherhüllen umgebener Massentheilchen.

§. 90. Setzen wir den Fall, es gebe eine chemische Verbindung, in welcher 1 Atom eines Körpers A mit 3 Atomen von B in Verbindung getreten ist, so läßt sich die Anordnung der Massentheilchen und ihrer Aetherhüllen etwa so denken, wie dieses in Fig. 95 dargestellt ist und man kann annehmen, daß der Typus des so entstandenen Moleculs ein Dreieck abc sei.

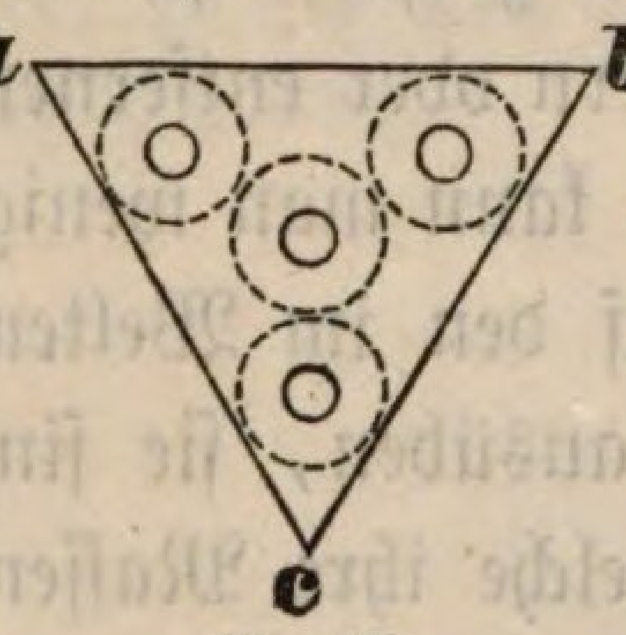
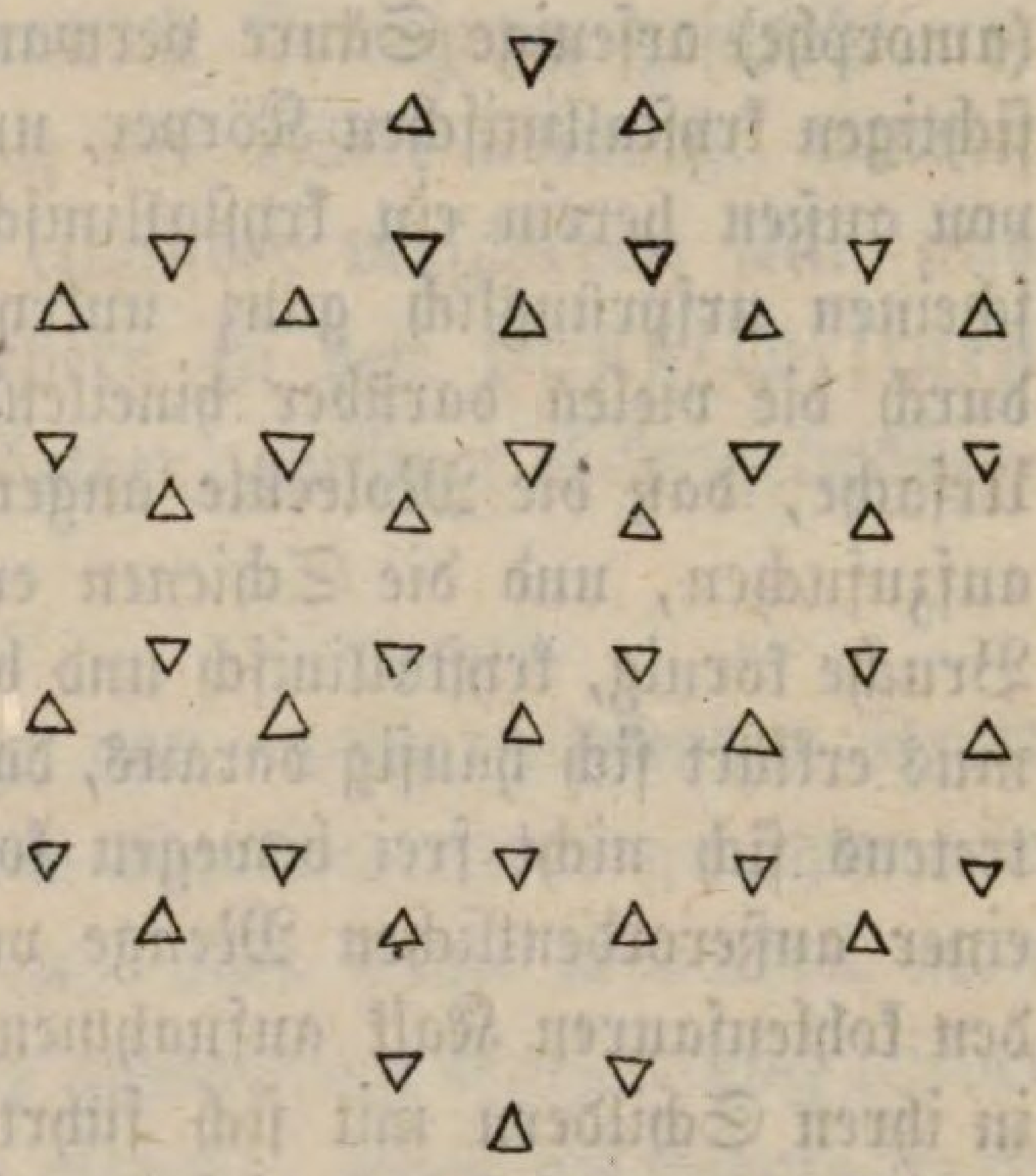


Fig. 95.

Hat man mehrere solche Molecüle, die sich frei bewegen können, so werden sie sich gegenseitig anziehen, wenn aber dabei die Entfernung kleiner wird, nimmt auch die Anziehung ab und verschwindet endlich völlig. Dabei kann es nicht gleichgültig sein, welche gegenseitige Stellung die beiden Molecüle beobachten und es verhindert wenigstens nichts die Annahme, daß diese Stellung eine symmetrische sei. Für den Fall, daß einer Seite eines Dreiecks das Eck eines andern gegenüberstehe, ergibt sich sehr leicht, daß die Ordnung, in welcher eine größere Anzahl von Molecülen beisammensteht, keine andere sein könne, als das in Fig. 96 angegebene Sechseck. Drehen sich jedoch die Dreiecke so, daß der Seite des einen auch eine Seite eines


Fig. 96.

andern gegenübersteht, so erhält man ein anderes Sechseck Fig. 97. Nicht sämmtliche Molecüle können sich in einer und derselben Ebene an einander anlagern, sie werden verschiedene Stockwerke bilden und die Ebenen der einzelnen Elementardreiecke werden unter einander parallel sein. Für den Fall, daß die Molecüle in den verschiedenen Ebenen mit einander abwechseln, wird der Verticalschnitt des Körpers der Fig. 98 entsprechen und das Ganze wird eine sechsseitige Doppelpyramide sein, die mehr oder weniger spitzig zuläuft, je nachdem die Randmolecüle der über einander stehenden Etagen weniger oder mehr gegen die Mitte hereinrücken. So zeigt Fig. 98 zwei mit einander verbundene Pyramiden, von denen die äußere aaa eine sogenannte Zuspitzung der inneren ist. Verschiedene Zusammensetzung der Molecüle, welche sich verbinden, bringt natürlich auch verschiedene Formen der Körper hervor, welche von ihren Gruppen dargestellt werden.


Fig. 97.

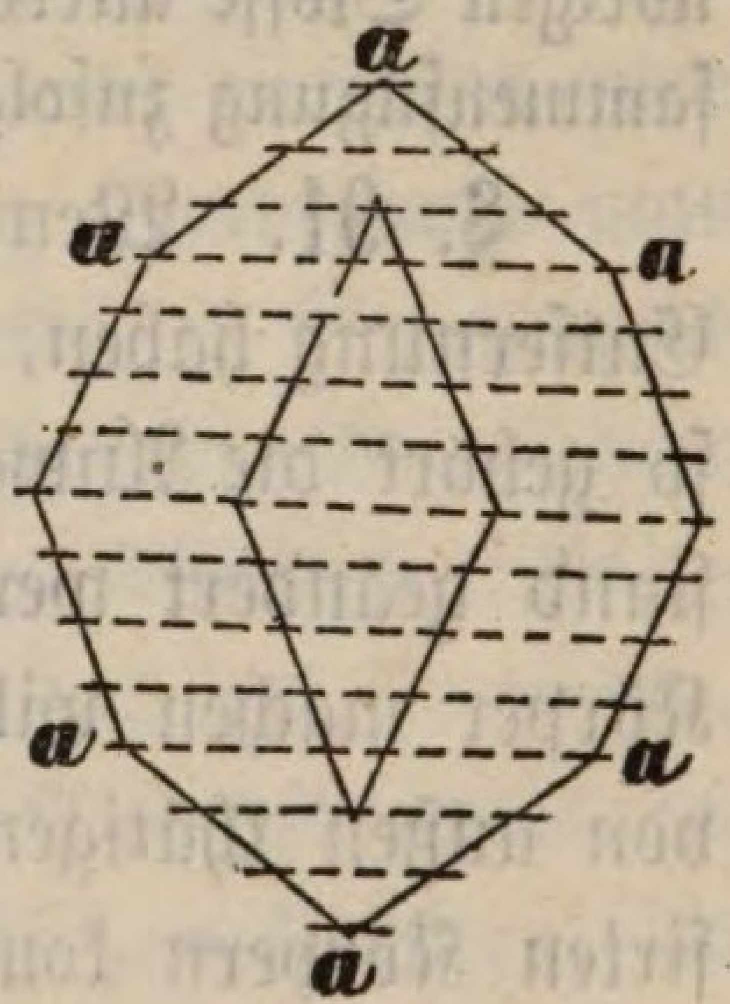


Fig. 98.

Man nennt solche Körper, welche eine regelmäßige durch ebene Flächen begränzte Gestalt und eine dieser Gestalt entsprechende innere Structur haben, Krystalle. In der Natur kommen sehr viele Krystalle vor, eine große Menge derselben kann auch künstlich hergestellt werden. Ist wohl das innere Gefüge eines Körpers regelmäßig, besteht derselbe aber aus einem ungeordneten Haufwerk kleiner Krystalle, so heißt er krystallinisch, und wenn ihm die regelmäßige Structur fehlt, so wird er amorph genannt.

Der Bergkrystall, die Edelsteine, der isländische Doppelspath sind natürliche Krystalle, der Candiszucker besteht aus künstlichen Krystallen, der cararische Marmor, der Hutzucker sind krystallinisch, der Feuerstein, die Kreide, der Gerstenzucker sind amorph. Eine und dieselbe chemische Verbindung kann in allen 3 Formen auftreten: so haben Doppelspath, cararischer Marmor und Kreide dieselbe chemische Zusammensetzung; doch kann man beobachten, daß amorphe Körper das Bestreben haben, krystallinisch zu werden, woraus sich schließen läßt, daß Krystallisation und Amorphismus sich ähnlich verhalten wie stabiles und labiles Gleichgewicht der Körper. Die glasige

(amorphe) arsenige Säure verwandelt sich nach und nach in einen undurchsichtigen krystallinischen Körper, und ebenso nimmt der Gerstenzucker allmälig von außen herein ein krystallinisches Gefüge an. Die Eisenbahnschienen erscheinen ursprünglich ganz unkrystallisirt; allein die Erschütterungen, die durch die vielen darüber hineilenden Bahnzüge verursacht werden, sind die Ursache, daß die Molecüle angeregt werden, eine andere Gleichgewichtslage aufzusuchen, und die Schienen erscheinen daher nach einiger Zeit auf dem Bruche körnig, krystallinisch und brechen leichter als früher. Der Amorphismus erklärt sich häufig daraus, daß die Molecüle zur Zeit ihres Zusammentretens sich nicht frei bewegen konnten. Die Kreide besteht aus den Resten einer außerordentlichen Menge von Infusorien, die während ihres Lebens den kohlensauren Kalk aufnahmen und dann mit andern Stoffen verbunden in ihren Schildern mit sich führten. Nach dem Tode des Geschöpfes blieb das Scelett zurück und dieses enthält nun wieder den Kalk, von dem sich die übrigen Stoffe allerdings längst getrennt haben, der aber der Art der Zusammenfügung zufolge kein krystallinisches Gefüge besitzen kann.

§. 91. Wenn die Molecüle eines Körpers diejenige gegenseitige Entfernung haben, in welcher Anziehung und Abstoßung sich aufheben, so gehört die Anwendung einer gewissen Kraft dazu, wenn dieser Zustand geändert werden soll, wenn man z. B. einen Eindruck in den Körper machen will, und der Widerstand, den derselbe einer solchen von außen thätigen Kraft entgegensetzt, heißt Härte. Bei krystallisirten Körpern kommt noch hinzu, daß mit einem etwaigen Eindrucke auch eine Aenderung der gesetzmäßigen Stellung der Molecüle gegen einander nothwendig ist, und daraus ergibt sich die Thatsache, daß eine und dieselbe Verbindung im krystallisirten Zustande härter ist als im amorphen. Ruht das Sechseck Fig. 99 auf einer horizontalen Unterlage, so werden die Theilchen a, b, c, d vermöge der auf sie wirkenden Molecularkräfte an ihren Stellen zu bleiben suchen, aber es wirkt auf sie auch die Schwere, welche sie senkrecht abwärts zieht.

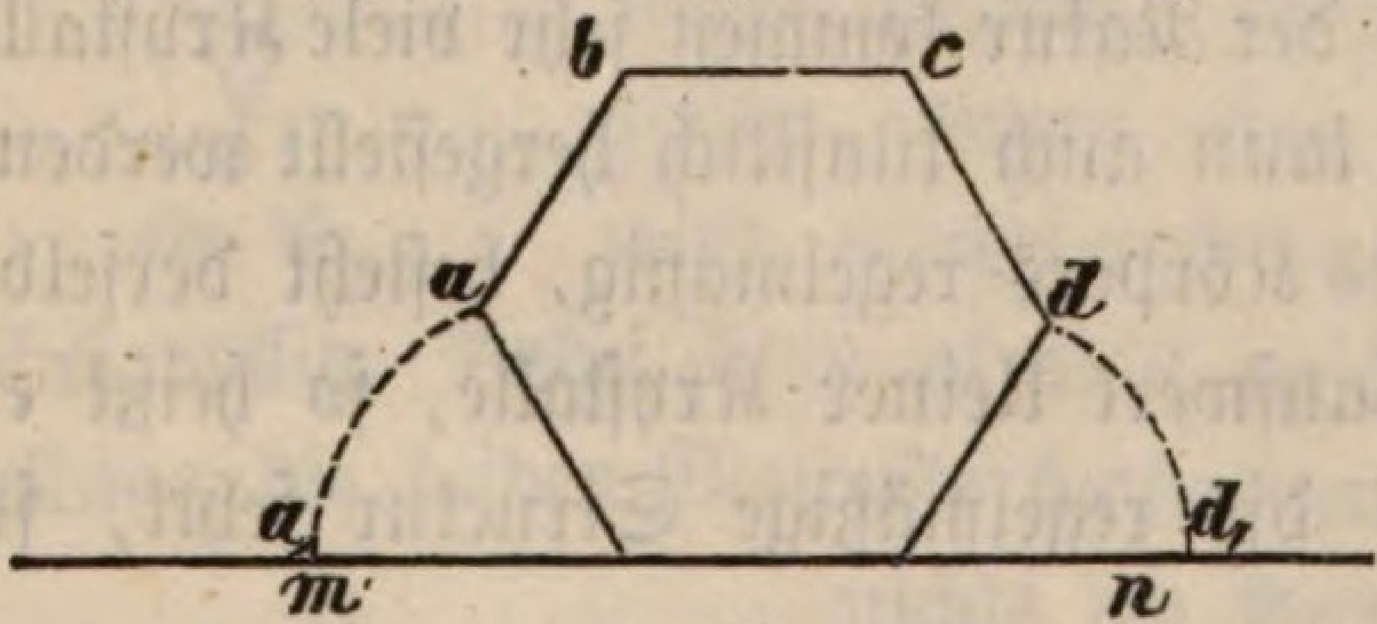


Fig. 99.

Ist die Wirkung der Schwere geringer als die Härte, so bleiben die Molecüle an ihrer Stelle, der Körper ist fest; ist dagegen die Schwere größer, so wird eine Bewegung eintreten, die Molecüle werden auf mn herabsinken, z. B. a nach a_1, d nach d_1 und sich darauf ausbreiten. Der Körper ist flüssig. Dieser Vorgang kann stattfinden, ohne daß darum die Gesetze über den jeweiligen Abstand der Molecüle beeinträchtigt werden, indem z. B. die Molecüle a und d die Kreisbogen aa_1 und dd_1 beschreiben.

Je nach der Leichtigkeit, mit der diese Bewegung geschieht, je mehr also die Wirkung der Schwere die der Härte überragt, werden die einzelnen Flüssigkeiten wieder unter einander verschieden sein, und geht man von den dickflüssigen Körpern zu den dünnflüssigen über, so geben Syrup, Oel, Wasser, Aether, flüssiger Schwefelwasserstoff eine solche Reihe.

§. 92. Durch Anwendung einer von außen wirkenden Kraft können die Molecüle eines festen Körpers einander etwas genähert, sie können aber auch etwas entfernt werden, aber dann beobachtet man das Bestreben der Theilchen ihre frühere gegenseitige Entfernung wieder einzunehmen, und dieses geschieht auch alsbald, sowie die äußere Kraft aufhört. Man nennt diese Eigenschaft Elasticität; sie kommt sämmtlichen Körpern wenn auch in verschieden hohem Grade zu. Die einen Gegenstände gestatten nur eine geringe Verrückung, und sowie man durch größere Gewalt die Molecüle noch weiter treibt, so hört plötzlich der Zusammenhang der Körpers auf, derselbe zerbricht. Bei andern Körpern können die Molecüle sehr weit von ihrer Gleichgewichtslage entfernt werden, ohne daß sie zerreißen und ohne daß das Vermögen, die alte Form wieder anzunehmen, verloren geht. Dadurch ergibt sich der Unterschied zwischen elastischen und unelastischen Körpern, der jedoch strenge genommen nicht einen Gegensatz, sondern nur den höheren oder niedrigeren Grad derselben Eigenschaft, der Elasticität, bezeichnet.

Hängt man an einen Körper nach und nach verschiedene Gewichte an, so dehnt er sich in der Richtung aus, in welcher letztere wirken, und so lange man innerhalb der Elasticitätsgränze bleibt, ist die Ausdehnung der wirkenden Kraft proportional. Nimmt man dann die Gewichte nach und nach wieder weg, so erfolgt die entsprechende Contraction. Wird die Elasticitätsgränze durch zu große Belastung überschritten, so wächst die Ausdehnung rascher als vorher.

Savart hat mit einer großen Anzahl von Körpern Versuche angestellt und unter andern für einen Kupferdraht und für einen Stahldraht von je 2.77^{mm} Durchmesser bei verschiedenen Belastungen die nachstehenden Längen gefunden:

Belastung	0^{Kgr}	5^{Kgr}	10^{Kgr}	15^{Kgr}	20^{Kgr}	25^{Kgr}	30^{Kgr}
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Kupferdraht	950.53	950.59	950.65	950.71	950.77	950.84	950.90
Stahldraht	950.25	950.29	950.34	950.38	950.41	950.46	950.50

Man sieht hieraus, daß die Ausdehnungen der beiden Drähte den Gewichten proportional sind, denn die kleinen Schwankungen bei dem Stahldrahte sind kaum etwas anderes als Beobachtungsfehler. Auch bei Drehungen, wenn z. B. ein Draht um seine Axe gedreht werden soll, kommt man auf dasselbe Resultat, es ist nämlich die angewandte Kraft dem Drehungswinkel proportional.

§. 93. Die Kraft, welche nothwendig ist, um den Zusammenhang eines Körpers aufzuheben, lehrt die Cohäsion oder Festigkeit des letzteren kennen. Unter sonst gleichen Umständen wird der härtere Körper fester sein als der weniger harte, doch können auch Fälle vom Gegentheile eintreten. Der eine Körper ist möglicherweise sehr hart, hat aber nur eine sehr geringe Elasticität. Dieser Stoff wird einer Kraft, die ihn auseinander zu ziehen strebt, einen bedeutenden Widerstand entgegen setzen; aber sowie er über die nahe Elasticitätsgränze hinüber gekommen ist, hört dieser Widerstand plötzlich auf. Ein anderer Gegenstand sei weniger hart aber elastischer. Um seine Molecüle etwas auseinander zu ziehen braucht man eine im Verhältniß zu dem vorigen Falle geringere Kraft, aber diese muß bei fortdauernder Verlängerung mehr und mehr vergrößert werden, und da die Elasticitätsgränze ferner liegt, hat man am Ende eine größere Kraft nöthig, als vorher bei dem harten.

Die Festigkeit ist von großem practischen Interesse, wenn es sich um die Widerstandsfähigkeit von Baumaterial bei Gebäuden, Brücken u. dgl. handelt. Man unterscheidet hier noch die absolute, relative und rückwirkende Festigkeit, je nachdem man den Widerstand berücksichtigt, den ein Körper bei dem Auseinanderziehen, Abbrechen und Zusammendrücken leistet.

Nach den Versuchen von Eitelwein, Tredgold u. A. ist die absolute Festigkeit für nachstehende Körper bei einem Querschnitte von 1 □Centimeter die folgende:

Stahl, harter	10820	Kilogr.	Blei	62	Kilogr.
Eisen, geschmiedet	5343	„	Glas	192	„
„ gegossen englisches	6611	„	Eichenholz, Kern	1819	„
„ „ deutsches	4816	„	„ Splint	1005	„
Eisendraht	6434	„	Weißtanne	957	„
Messing	1265	„	Hanfseile	615	„

Im Allgemeinen wächst die Festigkeit mit dem Querschnitte; doch scheint bei einzelnen Körpern wie z. B. bei Eisendraht die Oberfläche fester zu sein als das Innere und je dünner der Draht, um so größer wird die Festigkeit eines Bündels von gleich großem Querschnitte. Auch dünnere Hanfseile sind verhältnißmäßig fester als dickere, weil letztere mehr gedreht sind. Im nassen

Zustande tragen die Seile weniger als trocken. Bei practischen Anwendungen darf man übrigens der Sicherheit wegen bei Metallen nicht über $\frac{1}{2}$, bei Hölzern nicht über $\frac{1}{3}$ der durch die Versuche ermittelten Festigkeit in Rechnung bringen.

Nennt man bei einem parallelepipedischen Körper die Breite b, die Höhe h und die Länge l, so ist ihre Tragfähigkeit oder relative Festigkeit dem Ausdrucke $\frac{bh^2}{l}$ proportional. Betragen b, h und l ein Centimeter, so halten nach Tredgold nachfolgende Körper die beistehenden Belastungen aus ohne zu zerbrechen:

Schmiedeisen	1878 Kilogr.	Eiche	408 Kilogr.
Gußeisen	1614 „	Tanne, rothe	453 „
Messing	717 „	„ weiße	383 „

Hohle Cylinder tragen bei gleichem Gewichte mehr als massive, und außerdem kann durch zweckmäßige Form die Tragkraft von Stäben, Wagbalken u. s. w. vermehrt werden.

Die rückwirkende Festigkeit parallelepipedischer Körper ist dem Würfel der kleineren und der ersten Potenz der größeren Seite der gedrückten Fläche direct, dem Quadrate der dem Drucke parallelen Seite umgekehrt proportional. Würfel von 1 Centimeter Seitenlänge werden bei nachstehender Belastung zerdrückt:

Gußeisen	7954 Kilogr.	Marmor	520 Kilogr.
Messing	10830 „	Sandstein, harter	544 „
Granit	526 „	Eichenholz	295 „
Kalkstein	505 „	Mauerziegel	52 „

Ist die gedrückte Fläche im Vergleich zu der Höhe des Körpers groß, so wächst das Tragvermögen der gedrückten Fläche proportional.

§. 94. Wenn man einen Körper über seine Elasticitätsgränze hinaus ausdehnt oder zusammendrückt, so nimmt er die ursprüngliche Gestalt nicht wieder an; es wird jedoch in Beziehung auf das nunmehrige Verhalten ein Unterschied beobachtet. Bei den einen Körpern findet eine vollkommene Trennung in mehrere Theile statt, während andere eine neue Gestalt erhalten. Man nennt die ersteren Stoffe spröde, die letzteren dehnbar, biegsam u. s. w.; es bezeichnen jedoch die beiden Benennungen wiederum weniger einen Gegensatz, als einen höhern oder niedrigeren Grad der sich entgegengesetzten Eigenschaften, denn es gibt wohl ebensowenig einen absolut spröden, als einen absolut biegsamen Körper.

Auf dieser Eigenschaft beruht das Pulvern der einen Körper, das Modelliren, Pressen, Prägen der andern. Ein spröder Körper würde in der Prägmaschine zerbrechen, das Metall nimmt als Münze eine beliebige Form an.

§. 95. Hat man einen festen Körper zerrissen und hält man die Stücke so gut als möglich zusammen, so halten sie nicht mehr, sie bleiben Bruchstücke. Es spricht alles dafür, daß die Zerreißungsflächen nicht mehr vollkommen aufeinander passen, die einander entsprechenden Molecüle der Bruchstücke können einander nicht mehr so nahe gebracht werden, als sie vorher waren, und da die Anziehungskräfte in Entfernungen, die über die eigentlich molecularen hinausgehen, sehr rasch abnehmen, so kann die Anziehung nicht mehr den früheren Werth erlangen.

Räumt man das im Vorstehenden bezeichnete Hinderniß aus dem Wege, indem man den beiderseitigen Molecülen möglichst viele Gelegenheit bietet, sich nahe zu kommen, so wird man auch alsbald die Anziehung zum Vorschein kommen sehen. Es geschieht dieses durch möglichst glattes Abschleifen zweier Körper. Läßt man die beiden Körper längere Zeit bei einander, so vereinigen sie sich oft so, daß es schwer fällt oder unmöglich ist, sie von einander zu trennen. Man nennt diese Anziehung, vermöge welcher zwei verschiedene Körper zusammengehalten werden Adhäsion im Gegensatze zu der Cohäsion, worunter die verschiedenen Anziehungskräfte verstanden werden, welche die Theilchen eines und desselben Körpers zusammenhalten.

Die Adhäsion wird begünstigt, wenn der eine Körper zeitweilig flüssig ist, weil er sich dann den Unebenheiten des andern möglichst anschmiegt und so die Berührung beider eine innigere wird. Hierauf beruht das Leimen und Kitten. Das Bindemittel wird im flüssigen Zustande zwischen 2 feste Körper gebracht, adhärirt an beiden, und erhärtet dann. Es wird verlangt, daß die Cohäsion des Bindemittels und seine Adhäsion an die zu verbindenden Körper größer seien, als die Cohäsion der letzteren, so daß diese bei Anwendung von Gewalt zuerst brechen.

§. 96. Bei den Flüssigkeiten scheinen sich die kleinsten Theilchen zum Unterschiede von den eckigen Molecülen der festen Körper der Kugelgestalt zu nähern, und in Folge dessen ist auch die Wirkung jedes derselben nach jeder Seite hin die gleiche. Weil nun keine Richtung vor der andern bevorzugt ist, lassen sich die benachbarten Theilchen leicht von der einen in die andere bringen, d. h. sich verschieben und die zum großen Theile von der Unverschiebbarkeit herrührende Härte der festen Körper (§. 91) kommt daher den Flüssigkeiten nur in ganz geringem Grade zu. Wegen der Gleichberechtigung aller Richtungen nehmen die Flüssigkeiten, wenn sie sich selbst überlassen sind, eine Form an, welche nach allen Richtungen dieselben Verhältnisse bietet und diese

Gestalt ist die Kugel- oder Tropfenform. Wirken auf den Tropfen noch andere Kräfte, z. B. die Schwere, so wird auch diese ihren Einfluß auf ihn ausüben und legt man ihn auf eine ebene Unterlage, so fließt aus den §. 91 genannten Gründen und wegen der daraus entspringenden geringen rückwirkenden Festigkeit der Tropfen auseinander. Die rückwirkende Festigkeit ist zwar sehr gering, aber darum fehlt sie doch nicht ganz, und es können daher ganz kleine Kugeln als Tropfen trotz der Schwerewirkung fortbestehen.

§. 97. Taucht man einen festen Körper in eine Flüssigkeit und zieht man ihn darauf wieder heraus, so wird man finden, daß derselbe entweder benetzt wurde, d. h. daß sich Flüssigkeitstheilchen an ihn angehängt haben, oder nicht. Ist das Erstere der Fall, so sind wir zu dem Schlusse berechtigt, daß zwischen der Flüssigkeit und dem festen Körper eine Adhäsion stattfindet und daß diese jedenfalls stärker sein müsse als eine etwaige Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen unter sich, denn sonst wäre letztere nicht auseinander gerissen worden. Findet keine Benetzung statt, so ist jedenfalls die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen die größere und es handelt sich noch um die Frage, ob bei Benetzung neben der Adhäsion noch eine Cohäsion, bei Nichtbenetzung neben der letzteren noch eine Adhäsion stattfinde. Die Antwort auf diese Frage folgt leicht aus folgendem Versuche. Man bringt an einer Wage, an welcher die eine Schale durch eine an einer Schnur hängende horizontale Scheibe ersetzt worden ist, diese letztere mit der andern Schale durch zugelegte Gewichte in's Gleichgewicht. Nähert man der Scheibe nun von unten eine Flüssigkeit so, daß beide sich berühren, so wird man finden, daß es einiger Kraft bedarf, um beide wieder zu trennen. Die Trennung geschieht an der schwächsten Stelle, zieht man daher die Scheibe benetzt hervor, so ist die Flüssigkeit auseinander gerissen, und das Gewicht, das man nöthig hatte, ist ein Maaß für die Cohäsion; wird aber die Scheibe nicht benetzt, so ist die Bruchfläche die Gränze von Flüssigkeit und Scheibe und das angewandte Gewicht entspricht der Adhäsion beider. Um eine Glasscheibe von 113^{mm} Durchmesser loszureißen, braucht man nach Müller für

Wasser	59	Gramm
Alkohol	31	„
Terpentinöl	34	„

Die Scheibe ist benetzt und es ist daher die Cohäsion des Wassers größer als die der beiden andern Flüssigkeiten. Eine Scheibe von

Kupfer gibt dasselbe Resultat. Nimmt man jedoch statt Wasser Quecksilber, so reißt die Scheibe bei einer Belastung von 200 Grammen ab sie ist nicht benetzt, und man hat die Adhäsion beider Substanzen gemessen. Die Cohäsion des Quecksilbers würde man bei Anwendung einer Scheibe von Gold oder Silber bekommen, denn diese Metalle werden von Quecksilber benetzt und jetzt reißt das letztere.

Wenn eine Flüssigkeit an zwei festen Körpern in verschiedenem Grade adhärirt, so wird sie wenn es ihr möglich ist, von dem einen zum andern übergehen. So adhärirt das Wasser stärker an Leinwand als an der menschlichen Haut; man kann daher erstere benützen, um letztere abzutrocknen, während Wollenzeug sich nur schlecht zum Handtuch eignet. Oele adhäriren stärker an Lehm als an Holz, und darauf beruht das bekannte Mittel, Oelflecken aus dem Holze zu entfernen. Andererseits adhärirt Wasser stärker an Papier als Oel, und wenn man daher ein mit Oel beschmutztes ungeleimtes Papier in Wasser hängt, so verdrängt letzteres das Oel und reinigt so das Papier. Die Adhäsion von Flüssigkeitstheilchen an einen festen Körper kann auch größer sein als die Cohäsion des letzteren, und dann löst sich dieser in der Flüssigkeit auf, wie z. B. Zucker in Wasser.

Die Flüssigkeiten zeigen in Folge der verschiedenen Molecularanziehung an der Oberfläche eine größere Härte als im Innern, in welchem jedes Theilchen nach allen Seiten gleiche Anziehung erfährt, was bei den Gränztheilen nicht der Fall ist. Man kann darum kleine schwere Körper wie Nadeln auf die Oberfläche legen, ohne daß sie untersinken.

§. 98. Hat man eine Flüssigkeit in ein Gefäß gebracht, so liegen die in einiger Entfernung von dem Rande befindlichen Oberflächentheile derselben vermöge ihrer Verschiebbarkeit und den Gesetzen der Hydrostatik zufolge in einer horizontalen Ebene; geht man aber an den Rand selbst, so werden wenn letzterer benetzt wird, die äußersten Theilchen von den Bestandtheilen der Wand, die unmittelbar über dem Niveau liegen, nach aufwärts, von der Schwere und den nächstuntern Flüssigkeitsmolecülen nach abwärts gezogen und es wird so lange ein

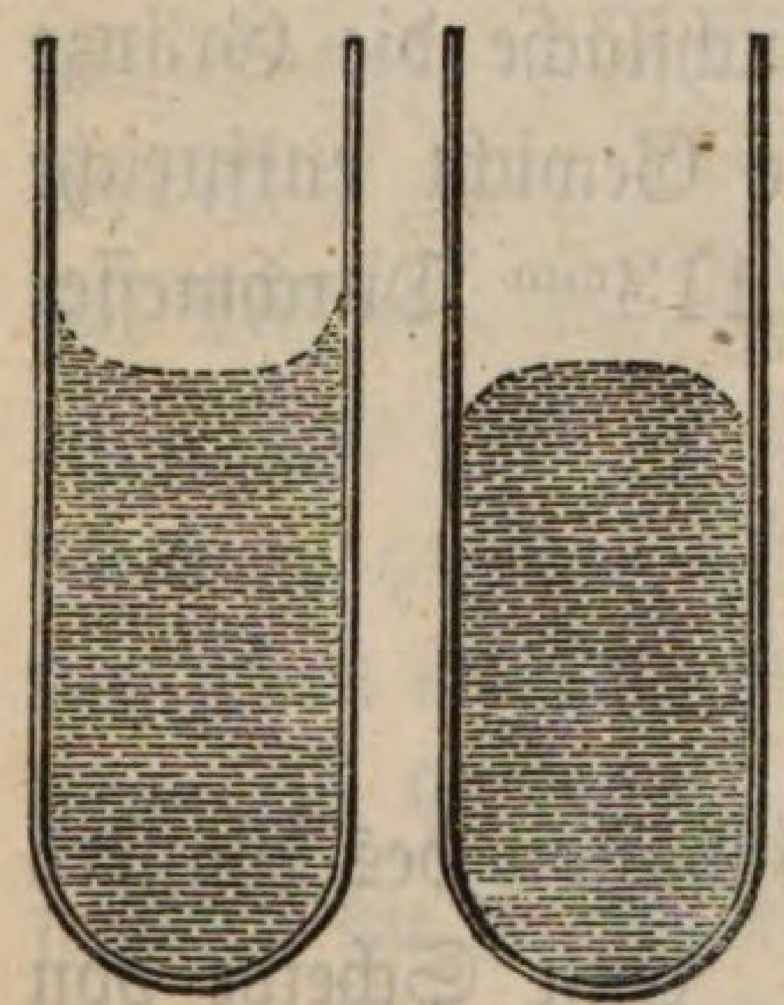


Fig. 100 Fig. 101.

Aufwärtsbewegen der Flüssigkeit stattfinden, bis der Ueberschuß der Adhäsion durch die entgegenwirkenden Ursachen aufgehoben ist. Die Flüssigkeit ist daher am Rande nicht horizontal, sondern etwas nach aufwärts gebogen. Ist umgekehrt die Adhäsion kleiner als die Cohäsion, so werden die äußersten Oberflächentheile von der Wand weniger angezogen als von den nächstuntern Flüssigkeitsmolecülen, und es entsteht daher so

lange eine Bewegung nach abwärts, bis der Ueberschuß der Cohäsion durch die Adhäsion an die Wand und den Seitendruck der übrigen Flüssigkeit neutralisirt wird. Wird daher der Rand benetzt, so kommt die Oberflächengestalt Fig. 100 zum Vorschein, während man im entgegengesetzten Falle die Fig. 101 beobachtet; es bekommt daher in einer Glasröhre Wasser die Oberflächengestalt Fig. 100, Quecksilber die Gestalt Fig. 101. Jede dieser beiden Wirkungen läßt sich noch in einiger Entfernung von der Berührungsstelle wahrnehmen, und in Röhren von sehr engem Durchmesser, den sogenannten Haarröhrchen, ergibt sich daher über den ganzen Querschnitt hin ein Aufsteigen oder eine Depression der Flüssigkeit (Fig. 102 u. 103). Man bezeichnet diese Wirkung der Haarröhrchen auch mit dem Namen Capillarerscheinungen oder Capillarität.


Fig. 102.


Fig. 103.

Das Aufsteigen oder die Depression von Flüssigkeiten in Haarröhrchen ist den Durchmessern derselben umgekehrt proportional und wechselt wieder bei den verschiedenen Flüssigkeiten. So ist ein Glasröhrchen von 1^{mm} Durchmesser im Stande, Wasser 29.79^{mm}, Alcohol 9.15^{mm} und Terpentinöl 12.72^{mm} weit in die Höhe zu ziehen, was einen Schluß auf die Größe der Adhäsion der betreffenden Flüssigkeiten an das Glas gestattet. (Vergl. §. 97.)

Bringt man zwei Flüssigkeiten von ungleichem specifischen Gewichte in ein Glasgefäß, so kann man die Verschiedenheit der Adhäsion derselben beobachten, denn wenn beide das Glas benetzen, sucht an der Berührungsfläche eine jede die andere zu verdrängen. Benützt man z. B. Chloroform, so steigt es, wenn es allein im Glase ist, am Rande aufwärts und seine Oberfläche ist daher concav. Uebergießt man es mit einer schwachen Kalilauge, so ist die Gränzfläche vollkommen eben; nimmt man aber statt der Kalilauge reines Wasser, so ist die Gränzfläche nach oben convex. Es ergibt sich daraus, daß der Ueberschuß der Adhäsion an Glas über die Cohäsion bei Chloroform und Kalilauge gleiche Größe hat, bei dem Wasser jedoch bedeutender ist als bei diesen.

Auf der Wirkung der Haarröhrchen beruht eine ganze Menge von Erscheinungen, so z. B. das Aufsteigen einer Flüssigkeit in Löschpapier, des Wassers in Zucker, die Wirkung der Kerzen- und Lampendochte, die An-

wendbarkeit der Pinsel, das Aufsteigen von Flüssigkeiten aus dem Boden in Mauern und Feuchtwerden derselben.

Quecksilber zeigt in Glasröhren eine Depression, es wird daher in Gefäßbarometern mit engen Röhren ein weniger hoher Stand der Quecksilbersäule zum Vorschein kommen, als bei solchen mit weiter Röhre, wie dieses bereits §. 55 erwähnt wurde.

§. 99. Die Flüssigkeiten adhäriren auch an einander. Ist die Adhäsion größer als die Cohäsion der einen Flüssigkeit und kleiner als die der andern, so findet eine Benetzung der letzteren statt; ist die Adhäsion größer als beide Cohäsionen, so mischen sich die Flüssigkeiten.

Zwischen Petroleum und Wasser ist die Adhäsion größer als die Cohäsion des Oeles, kleiner als die des Wassers, denn wenn man einen Tropfen des ersteren auf Wasser schüttet, so breitet er sich darauf alsbald so aus, daß er zuletzt nur noch ein ganz feines Häutchen bildet. Wäre die Adhäsion beider Körper so groß, daß auch die Wassertheilchen aus ihrem gegenseitigen Zusammenhange gerissen werden, so müßten beide Flüssigkeiten sich mischen lassen; aber dieses findet bekanntlich nicht statt. Bringt man Wasser und Quecksilber zusammen, so benetzt Ersteres das Letztere, es ist also die Adhäsion größer als die Cohäsion des Wassers, nicht aber größer als die des Quecksilbers, denn die beiden Flüssigkeiten mischen sich nicht. Gießt man kleine Quecksilbertropfen auf nasse Flächen, so werden sie an der Oberfläche naß, breiten sich aber ihrer bedeutenden Cohäsion wegen nicht aus, sondern bleiben Kugeln. Bei Wasser und Weingeist ist die Adhäsion größer als beide Cohäsionen, folglich mischen sie sich auch.

§. 100. Bringt man Wasser in ein Gefäß und übergießt man es mit aller Vorsicht mit Weingeist, so schwimmt letzterer vermöge seines geringeren specifischen Gewichtes zuerst auf dem Wasser. Wegen der Adhäsion bildet sich an der Berührungsstelle beider Flüssigkeiten eine Schichte, die eine Mischung von Wasser und Weingeist enthält und nach unten von Wasser, nach oben von Weingeist begränzt ist. Diese gemischte Schichte tauscht jetzt mit unten und oben ihre Bestandtheile aus, und wo immer eine wasserreichere Schichte zunächst an eine weingeistreichere zu stehen kommt, findet ein Bestreben nach Ausgleichung statt. Das Endresultat ist vollkommene Gleichartigkeit der Flüssigkeit; in allen Schichten von unten bis oben findet man dieselbe Mischung von Wasser und Weingeist.

Man nennt diese Erscheinung, vermöge deren eine gleichförmige Mischung verschiedener einander berührenden Flüssigkeiten erzielt wird, die Diffusion. Sie findet allemal dann statt, wenn die Adhäsion größer ist als die Cohäsion jeder der beiden Flüssigkeiten.

Berühren sich die Flüssigkeiten nicht unmittelbar, sind sie durch eine poröse Wand von einander getrennt, so müssen sie, ehe sie sich durchdringen können, zuerst die Wand passiren. Dadurch kommt eine neue Bedingung in die Erscheinung der Diffusion, nämlich die Adhäsion der Flüssigkeiten an die Wand. Ist diese bei der einen Flüssigkeit größer als bei der andern, so wird die erstere die Wand leichter passiren und die Folge wird sein, daß von ihr mehr auf die andere Seite hinübergeht, als von der zweiten. Hat man z. B. in eine unten mit Schweinsblase zugebundene Glasröhre Weingeist gebracht und taucht man die durch die Blase verschlossene Oeffnung in Wasser, so geht mehr von dem letzteren zu dem Weingeist hinüber als von diesem zu dem Wasser und die Flüssigkeit in der Röhre steigt, während sie sinkt, wenn innen Wasser und außen Weingeist ist. Legt man eine Blase voll Wasser in Weingeist, so verliert sie an ihrem Gewichte und schrumpft zusammen, während wenn man sie nur zur Hälfte mit Eiweiß füllt und in Wasser legt, sie in kurzer Zeit bis zum Zerplatzen anschwillt. Man nennt diesen Vorgang E n d o s m o s e.

Die Endosmose ist von höchster Bedeutung für den Haushalt der Thiere und der Pflanzen. Die verschiedenen Flüssigkeiten, die sich in den Thieren befinden, wie z. B. das Blut, bewegen sich nicht in vollständig dichten Behältern, sondern in porösen Gefäßen, deren Construction viele Analogie mit der Schweinsblase zeigt. Durch Endosmose wird es bewirkt, daß die einen Stoffe, die in den verschiedenen Organen überflüssig sind, von dem Blute ohne Zerreißung der Gefäße aufgenommen und fortgeführt, daß die im Blute befindlichen Nahrungsstoffe in den einzelnen Organen ausgeschieden werden können. Ebenso wird bei den Pflanzen die Aufnahme von Säften, das Ueberführen der Stoffe von einem Orte zum andern fast ausschließlich durch die Endosmose bewirkt. Hier versehen die Wandungen der Zellen, aus denen das Gewächs zum großen Theile besteht, die Rolle der thierischen Membrane.

§. 101. Bei den Luftarten sind unter gewöhnlichen Umständen die Molecüle nicht im Gleichgewichte, wie wir dieses bei festen und tropfbarflüssigen Körpern wahrnehmen, denn sie haben fortwährend das Bestreben, sich von einander zu entfernen; sie sind also in Entfernungen von einander, wo die Abstoßung größer ist als die Anziehung. Soll eine Quantität von Gasmolecülen bei einander bleiben, so muß ihr Entweichen durch Druck, Wandungen u. s. w. verhindert werden. Bei nicht in Gefäße eingeschlossenen Luftarten ist im Falle der Ruhe in den unteren Schichten der durch die obern bewirkte Druck und die Anziehung der Erde Hinderniß der Ausdehnung; bei der obersten

Schichte dagegen ist es die Schwerewirkung der Erde allein, welche das Entweichen in den Weltenraum unmöglich macht.

Preßt man eine Luftart zusammen, so wächst bei manchen derselben bei abnehmenden Distanzen die Anziehung etwas rascher als die Abstoßung, sie kann sogar zeitweilig größer werden, aber endlich überwiegt wieder die Abstoßung und es folgt daraus, daß die Molecüle, wenn sie von dem Zustande der Anziehung zu dem der zweiten Abstoßung übergehen, eine Gleichgewichtslage passiren müssen. Hat man z. B. Dampf von Schwefeläther, so verhält sich derselbe unter niedrigem Drucke wie eine andere Luftart und verringert bei nach und nach zunehmender Pression sein Volumen entsprechend; allein dieses geht nur bis zu einer bestimmten Gränze, dem Condensationspuncte, denn wird diese nur wenig überschritten, so verändert sich die Distanz der Molecüle nicht in einem dem Mariotte'schen Gesetze wenn auch nur annähernd entsprechenden Verhältnisse, sondern sie verringert sich sogleich um das 8—10fache des vorigen Werthes und der Dampf wird zur tropfbaren Flüssigkeit.

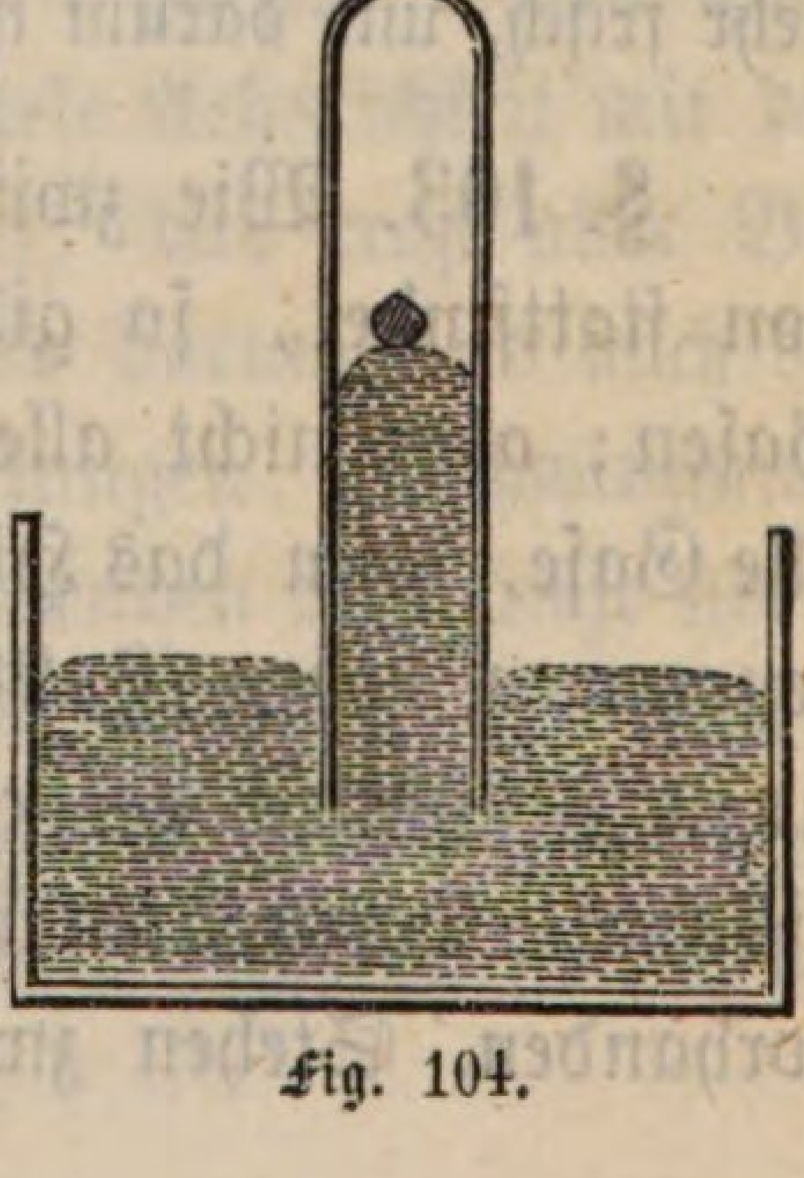
Wäre keine gegenseitige Anziehung der Lufttheilchen vorhanden, so wäre es schwer, einzusehen, warum die Abstoßung dem Drucke nicht Schritt für Schritt sondern plötzlich so bedeutend nachgibt, und es ist viel einfacher anzunehmen, daß die Anziehung bis zu der dem Gränzpuncte entsprechenden Distanz der Molecüle kleiner gewesen sei als die Abstoßung, daß sie aber kräftiger auftrete, wenn durch Hülfe des Druckes die Molecüle einander einmal so nahe gebracht wurden. Anziehung und Abstoßung der Theilchen nehmen bei abnehmender Distanz nach verschiedenen Gesetzen zu, und daraus erklären sich auch die §. 57 erwähnten Abweichungen der Luftarten von dem Mariotte'schen Gesetze, welche um so bedeutender sind, je näher dieselben dem Condensationspuncte kommen.

Der zur Condensation der Gase nothwendige Druck ist bei den einzelnen Luftarten verschieden, er ist auch bei höherer Temperatur bedeutender als bei niedriger. Manche Luftarten lassen sich unter gewöhnlicher Temperatur schon condensiren, wenn der Druck geringer als der einer Atmosphäre ist, während andere einen mitunter bedeutenden durch Condensationspumpen zu erzielenden Druck und eine sehr niedrige Temperatur verlangen, und man nennt sehr häufig die ersteren Luftarten **Dämpfe**, die letzteren **Gase** oder **Luftarten** im engeren **Sinne**; doch ist der Unterschied beider ein rein willkürlicher. Einige

Gase, wie Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff konnten mit allen bisher angewandten Mitteln nicht condensirt werden; sie heißen daher auch incoërcible Gase, doch behalten sie diesen Titel natürlich nur so lange, als ihre Condensation noch nicht gelungen ist. Coërcible Gase sind: Chlor, Salzsäure, schwefelige Säure, Schwefelwasserstoff, Kohlensäure, ölbildendes Gas, Ammoniak, Stickstoffoxydul u. s. w. Einige der letzteren, wie z. B. die Kohlensäure, können bei sehr niedriger Temperatur sogar fest werden.

§. 102. Wie man Adhäsionserscheinungen zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten wahrnimmt, so finden sie auch zwischen beiden und den Luftarten statt. Jeder feste Körper ist mit einer freilich sehr dünnen Kruste von Stoffen bedeckt, die für sich die Luftgestalt annehmen würden, und die Flüssigkeiten enthalten Luftarten aufgelöst, absorbirt. Diese Adhäsion wird durch dieselben Umstände begünstigt, welche auch die Condensation der Gase herbeiführen, durch Druck und niedrige Temperatur. Die Menge des aufgenommenen Gases ist für die einzelnen Körper und Luftarten verschieden.

Gießt man in ein trockenes Glasgefäß Wasser, so wird man nach einiger Zeit finden, daß sich seine Wandungen mit Luftblasen bedeckt haben, welche wenigstens zum großen Theile davon herrühren, daß die Luftschichte, die sich ursprünglich auf dem Glase befand, durch das Wasser verdrängt wurde. Kratzt man an einem trockenen Glase mit Hülfe eines Messers die Atmosphäre stellenweise weg, so werden sich die abgekratzten Stellen bei unmittelbar darauffolgendem Anhauchen anders verhalten als die übrigen, da sie jetzt sich vorzugsweise den durch den Hauch ihnen zuströmenden Wasserdampf aneignen, und man kann so das Verhalten der Luft sichtbar machen. Manche Körper, wie Chlorcalcium, Pottasche, ziehen die Wasserdämpfe aus der Luft an und werden dadurch feucht oder zerfließen vollständig.


Fig. 104.

Je größer bei gleicher Masse die Oberfläche eines festen Körpers ist, um so mehr Lufttheilchen wird er anziehen können, und dadurch wird das Verhalten von poröser Kohle besonders auffallend. Wird ein Stück glühende Kohle in Quecksilber abgelöscht und dann sogleich in einen Cylinder (Fig. 104) gebracht, in welchem sich Kohlensäure befindet, die durch das Quecksilber von der äußern Luft abgesperrt ist, so nimmt die Kohle die

Kohlensäure bis zum 20fachen ihres Volumens auf und das Quecksilber steigt daher im Cylinder in die Höhe. Man muß die Kohle vorher ausglühen, um die für gewöhnlich von derselben absorbirte Luft zu entfernen. Ersetzt man die Kohle durch Wasser, die Kohlensäure durch Ammoniakgas, so erfolgt die Absorption des Gases durch die Flüssigkeit. Das Wasser absorbirt ein 1050faches Volumen von Ammoniakgas und ein 500faches Volumen Salzsäuregas.

Unter verschiedenem Drucke bleibt die Zahl der von den Flüssigkeiten absorbirten Gasvolumina gleich, weil aber bei höherem Drucke die Quantität der in gleichem Raume eingeschlossenen Gastheilchen größer ist, so nimmt auch die Flüssigkeit unter erhöhtem Drucke (dem Gewichte nach) mehr davon auf. Schaumwein und Sauerwasser sind Flüssigkeiten, die unter höherem Drucke Kohlensäure absorbirt haben und den Ueberschuß fahren lassen, wenn sie an den gewöhnlichen Druck kommen.

Befindet sich Wasser an der Luft, so absorbirt es einen Theil derselben und diese kann nur durch anhaltendes Kochen entfernt werden. Bei 0° ist ein Volumen Wasser im Stande zu absorbiren:

0.020 Vol. Stickstoff,
0.041 „ Sauerstoff,
1.797 „ Kohlensäure.

Der von dem Wasser absorbirte Sauerstoff ist es, welcher das Athmen der Wasserthiere bedingt; ohne ihn, z. B. in abgekochtem Wasser, können letztere nicht leben. Die Kohlensäure, die von Getränken absorbirt ist, gibt denselben die Eigenschaft, die wir mit frisch bezeichnen. Kaltes Wasser ist blos darum, weil es kalt ist, nicht auch frisch; aber warmes Wasser kann nicht frisch sein, weil bei zunehmender Wärme das Absorptionsvermögen abnimmt und bei dem Erwärmen ein Theil der absorbirten Kohlensäure entweicht. Läßt man Wasser längere Zeit in Gefäßen stehen und erhöht sich seine Temperatur etwas, so scheidet sich Kohlensäure aus und trägt dann zu der Vergrößerung der oben erwähnten Blasen bei. Dieses Wasser ist dann nicht mehr frisch, und darum ist es auch als Getränke nicht beliebt.

§. 103. Wie zwischen Flüssigkeiten und Flüssigkeiten eine Diffusion stattfindet, so gibt es auch eine Diffusion zwischen Gasen und Gasen; aber nicht alle Flüssigkeiten diffundiren in einander, wohl aber alle Gase, denn das Hinderniß, welches wir bei den Flüssigkeiten wahrgenommen haben (§. 98), der Umstand nämlich, daß die Cohäsion der einen Flüssigkeit größer ist als ihre Adhäsion an die andere, ist für die Gase, deren Cohäsion im höchsten Falle nur sehr gering ist, nicht vorhanden. Stehen zwei mit verschiedenen Gasen gefüllte Räume unter-

einander in Verbindung, so werden sich die Gase so ausbreiten, daß nach einiger Zeit beide Räume einen vollkommen gleichförmigen Inhalt haben.

Auf der Diffusion der Gase beruht der Umstand, daß die uns umgebende Luft dieselbe bleibt, wenn auch örtlich Aenderungen derselben vorgenommen werden. Sind an einem Orte, etwa in einem Theater viele Menschen versammelt, so ist Anhäufung von Kohlensäure und Abnahme des in der umgebenden Luft befindlichen Sauerstoffs die unmittelbare Folge ihrer Respirationsthätigkeit. Da aber der Theaterraum nicht hermetisch abgeschlossen ist, sondern mit der äußern Luft communicirt, so folgt vermöge der Diffusion der Gase ein Austausch derselben in der Weise, daß Sauerstoff von außen hereinkommt, Kohlensäure hinausgeht, und die durch das Athmen der Menschen bewirkte Aenderung verschwindet.

Molecular-Dynamik

oder die Lehre von der Bewegung der kleinsten Theile der Körper.

§. 104. Außer denjenigen Bewegungen, vermöge welcher die Körper nach und nach verschiedene Stellen im Raume einnehmen, gibt es auch noch solche, welche eine Ortsveränderung des gesammten Körpers nicht zur Folge haben. Hier bewegen sich die kleinsten Theile, ihre Bewegung ist aber nicht immer dieselbe, denn sonst müßten sie sich doch endlich durch eine Fortbewegung der Gesammtmasse zu erkennen geben, sondern sie ist in einzelnen Zeiträumen der anderer Augenblicke entgegengesetzt, und es ergibt sich als Endresultat, daß der Körper nach dem Aufhören der Bewegung sich an derselben Stelle befindet, die er vor ihrem Beginne eingenommen hatte. Dieses Hin- und Hergehen der kleinsten Theilchen hat sehr viele Aehnlichkeit mit der Bewegung eines schwingenden Pendels (§. 81), das trotz aller Bewegung am Ende doch an der Stelle bleibt, und darum sind auch die ursprünglich bei diesem angewandten Bezeichnungen: Schwingung, Schwingungsdauer u. s. w. auf die in Rede stehenden Vorgänge übertragen worden; doch besteht zwischen beiden Bewegungen der Unterschied, daß bei den Pendelschwingungen die gegenseitigen Beziehungen der Molecüle sich bei der Bewegung gleich bleiben, während sie sich bei den Molecularbewegungen fortwährend ändern.

Die kleinsten Theilchen der Körper beobachten einen gegenseitigen Abstand und wenn man diesen innerhalb der Elasticitätsgränze in irgend einer Weise ändert, so suchen sie ihn nach dem Aufhören der ändernden Ursache wieder einzunehmen. Hat man z. B. einen Körper in die Länge gezogen, so sind dadurch seine Molecüle etwas von einander entfernt worden, und hört das Ziehen auf, so suchen sie die frühere Distanz, also die Gleichgewichtslage, wieder herzustellen. In dieser angelangt werden die Molecüle eine bestimmte Geschwindigkeit erlangt haben, vermöge deren sie ihre Bewegung fortsetzen. Dadurch wird eine abnorme Annäherung erzielt, und dieser folgt wieder die Ausdehnung. Es erfolgt so ein fortwährendes Schwanken der Molecüle um ihre Gleichgewichtslage, wie man dieses bei der Pendellinse wahrnimmt, ein Oscilliren.

Nach §. 92 ist der Widerstand, den ein Körper einer Aenderung seiner Moleculardistanzen entgegensetzt, dieser Aenderung selbst proportional, und dieser Satz läßt sich auch so fassen, daß man sagt, der Widerstand der Molecüle wachse mit ihrer Entfernung aus der Gleichgewichtslage. Wenn man nun die doppelte oder dreifache Kraft nöthig hat, um die doppelte oder dreifache Entfernung hervorzubringen, so muß auch die Kraft, welche die Molecüle in die Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, der Entfernung derselben von dieser proportional sein. Die Sätze des §. 80 sowie die daraus abgeleitete Formel 1) §. 81 finden daher hier sammt und sonders ihre strenge Anwendung, und c der Fig. 83 bedeutet also hier den Ort der Gleichgewichtslage, um welchen das Molecül schwingt, während a und m die Puncte der größten Entfernung von dieser Gleichgewichtslage angeben.

Die Schwingungen, welche bei den Molecülen der verschiedenen Körper wahrgenommen werden, sind von zweierlei Art; entweder bewegen sich alle Theilchen gleichzeitig in der gleichen Richtung, kehren daher auch gleichzeitig um, oder sie thun dieses in verschiedenen Zeiten so, daß während das eine Molecül in einer bestimmten Richtung geht, ein anderes sich entgegengesetzt bewegen oder momentan ruhen kann. Man nennt die Schwingungen ersterer Art stehende, die letzterer Art fortschreitende. Wenn bei den stehenden Schwingungen alle Molecüle sich gleichzeitig in der gleichen Phase befinden, so besteht darum doch der Unterschied zwischen ihnen, daß ihre Schwingungsamplitude nicht dieselbe ist; umgekehrt ist bei der fortschreitenden Schwingung

die Schwingungsamplitude der einzelnen Molecüle wenigstens bei den linearen Körpern gleich, aber die jeweiligen Phasen sind verschieden.

§. 105. Hat man zwischen den beiden festen Puncten a und b (Fig. 105) eine Saite aufgespannt, so stellt dieselbe in der Gleichgewichtslage eine gerade die festen Puncte verbindende Linie vor. Entfernt man sie durch Anziehen

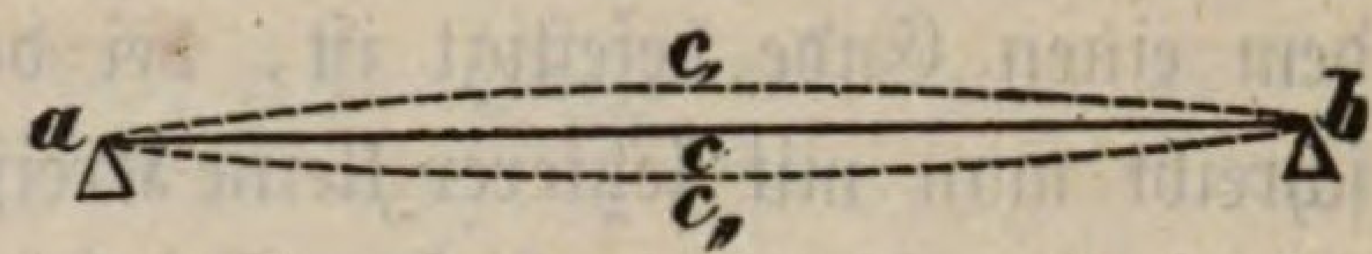


Fig. 105.

aus dieser Gleichgewichtslage, so daß sie die Stellung $ac_{,}b$ einnimmt, und läßt man sie dann los, so wird sie vermöge ihrer Elasticität in die Stellung acb zurückkehren, aber vermöge der Trägheit nach $ac_{,,}b$ gehen und dann zwischen $ac_{,}b$ und $ac_{,,}b$ hin- und herschwingen. Allen Theilen der Saite ist die Richtung der Bewegung jederzeit gemeinschaftlich, aber die Größe des Weges, die Schwingungsamplitude ist für die in der Nähe von a und b befindlichen kleiner, für die bei c stehenden größer und es entsteht daher hier das, was im vorigen Paragraphe eine *stehende Schwingung* genannt wurde.

Die Zeit, welche die Saite zu einer Schwingung nöthig hat, ist außer von dem Materiale abhängig von ihrer Spannung, ihrer Dicke und ihrer Länge und *bei verschiedenen aus der gleichen Substanz gefertigten Saiten verhalten sich die Schwingungszeiten direct wie die Längen und Durchmesser und umgekehrt wie die Quadratwurzeln ihrer Spannungen.*

Berührt man die Saite, wenn sie (Fig. 106) in h oder i angespielt wird, leise in c (wie dieses die Musiker machen, wenn sie die sogenannten Flageolettöne hervorbringen wollen), so schwingt sie nicht mehr in der in Fig. 105

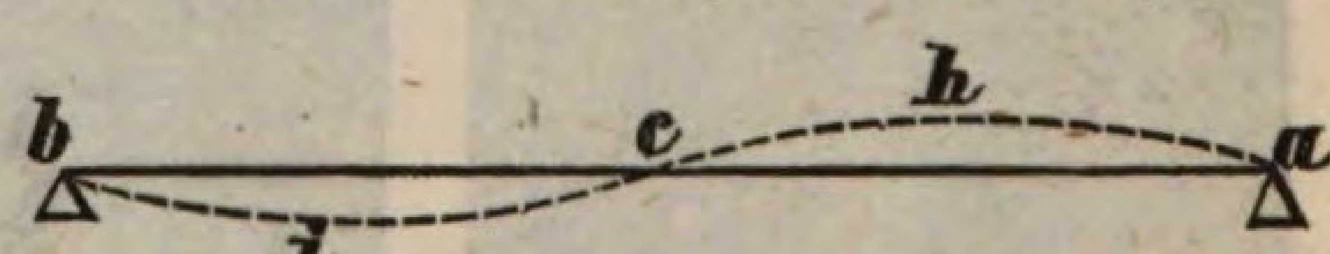


Fig. 106.

angegebenen Weise, sondern theilt sich in 2 Theile, ahc und cib, welche sich dadurch auszeichnen, daß die Molecüle beider Theile sich stets in der entgegengesetzten Richtung bewegen. Der Punct c bleibt ruhig, wie man leicht erkennen kann, wenn auf einzelne Puncte der Saite kleine Papierreiterchen aufgesetzt werden, denn diese werden der Bewegung wegen überall herabgeworfen, nur nicht in c. Man nennt diesen Punct c einen *Knotenpunct*, die Puncte h und i *Bäuche*. Wird die Saite in k (Fig. 107) angespielt und an dem Puncte d, der um ein Drittheil der ganzen Saitenlänge von b entfernt ist, wie vorhin leise berührt, so ergeben sich 3

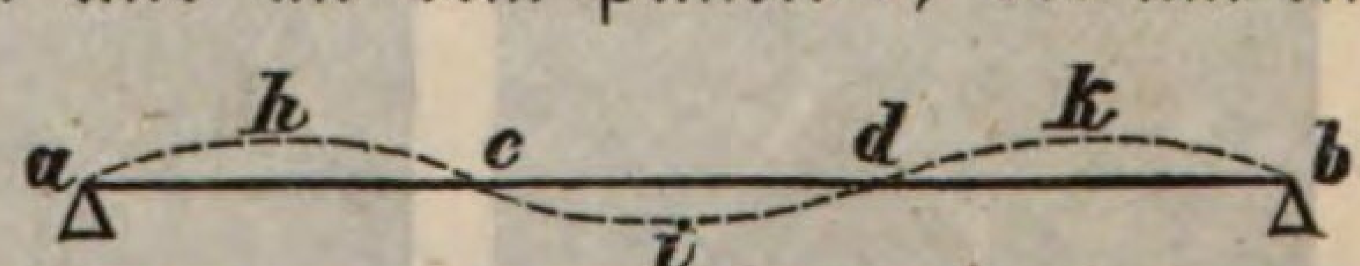


Fig. 107.

abwechselnd entgegengesetzt schwingende Theile der Saite: bd, cd und ac. Jetzt hat die Saite 2 Knotenpuncte und 3 Bäuche. Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch, wenn man unter d einen Steg setzt und die Saite in k anspielt. Nimmt man ein langes mürbes Seil, das an dem einen Ende befestigt ist, bei dem andern in die Hand und beschreibt man mit letzterer kleine Kreise, so zeigt sich bald, daß das Seil bei einer bestimmten Geschwindigkeit der Hand Schwingungen macht, die ganz denen der Saite entsprechen, welche in Fig. 105 angegeben sind. Beschleunigt man die Bewegung der Hand mehr und mehr, so erscheinen Abtheilungen im Seile und es treten nach einander die in Fig. 106 und 107 angegebenen Formen auf.

Nicht blos in Körpern von linearer Form, wie Saite und Seil können stehende Schwingungen hervorgebracht werden; es gilt dasselbe auch für die übrigen. Man kann dieses besonders gut bei Platten zeigen. Wird eine regelmäßig geformte allenfalls quadratische oder runde Glas- oder Metallplatte so an einem Puncte etwa dem Mittelpuncte befestigt, daß sie sonst allenthalben frei ist, so kann man ihren Rand an einer ganz beliebigen Stelle mit dem Geigenbogen anstreichen. Dadurch wird die Platte in Schwingungen versetzt, die von dem Puncte des Anstriches abhängen. Denkt man sich die Platte als ein Aggregat von einer großen Anzahl von Linien, von denen jede ihre Knotenpuncte besitzt, so werden sich die Knotenpuncte der einzelnen Linien nebeneinander legen und so regelmäßige Figuren bilden. Diese Figuren kann man dadurch sichtbar machen, daß man die Platte vorher mit Streusand bestreut, der während der Schwingungen sich von den Bäuchen entfernt und bei den Knotenpuncten liegen bleibt; man nennt diese Figuren nach ihrem

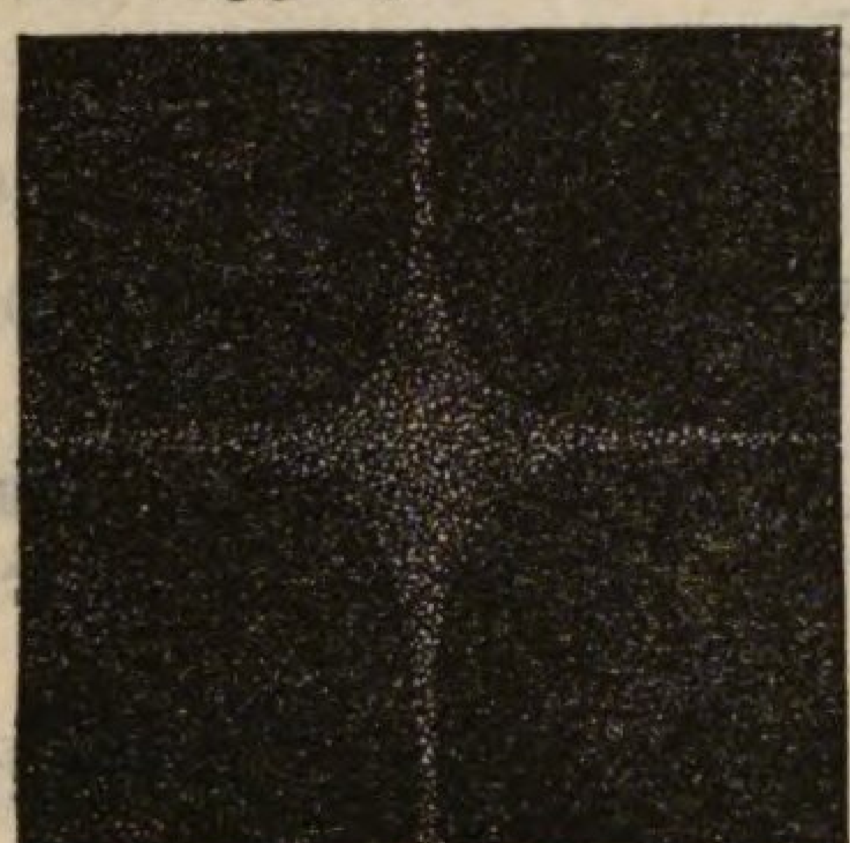


Fig. 108.

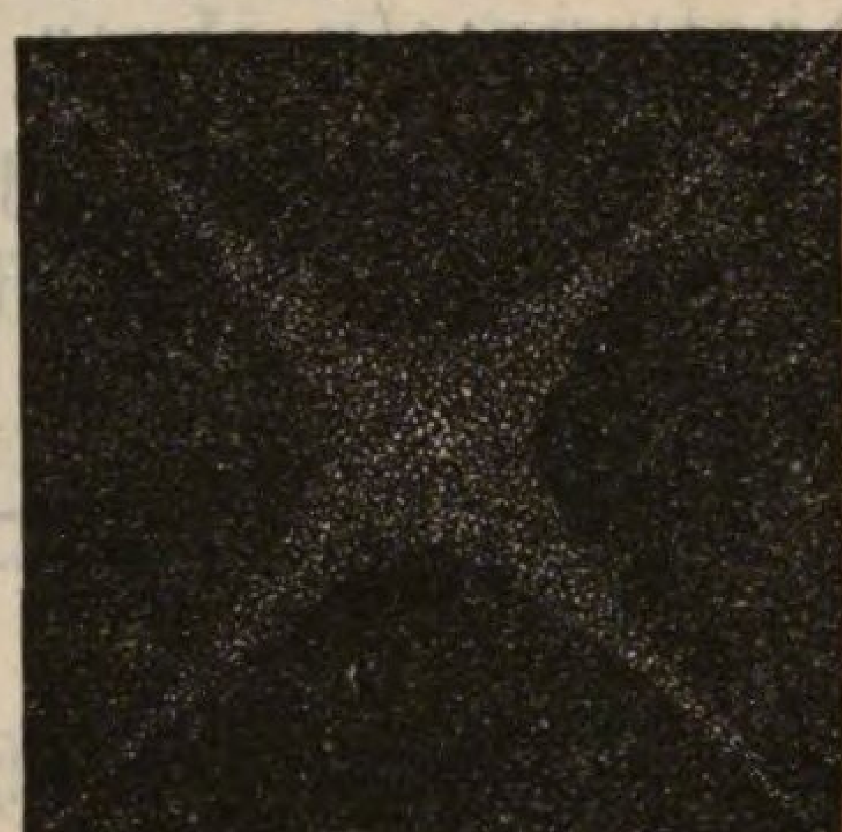


Fig. 109.

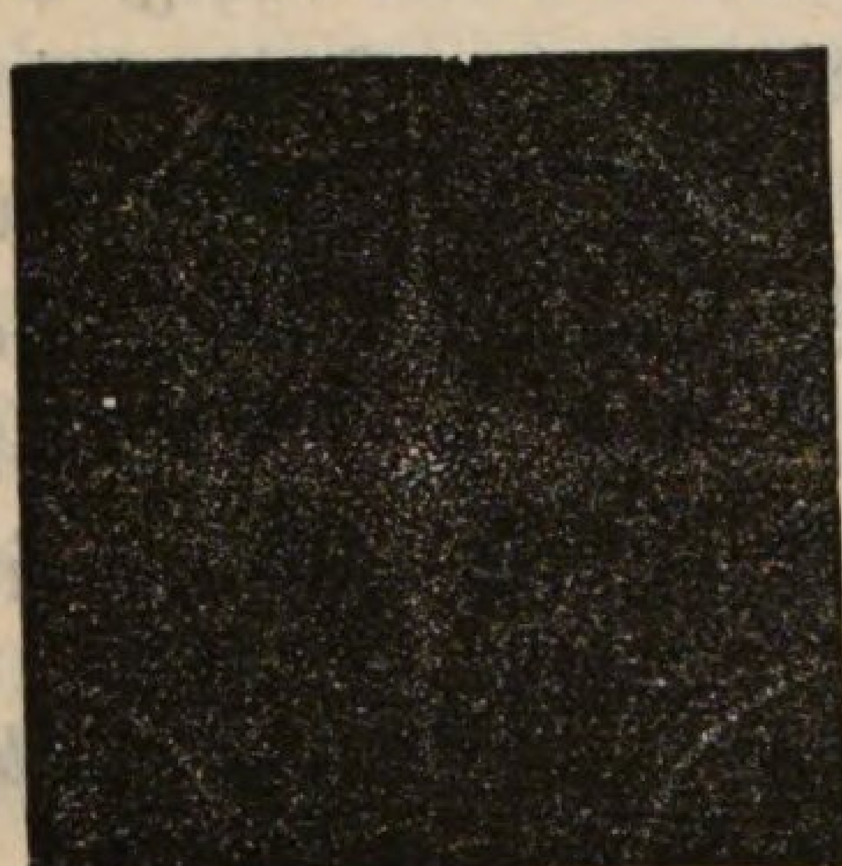


Fig. 110.

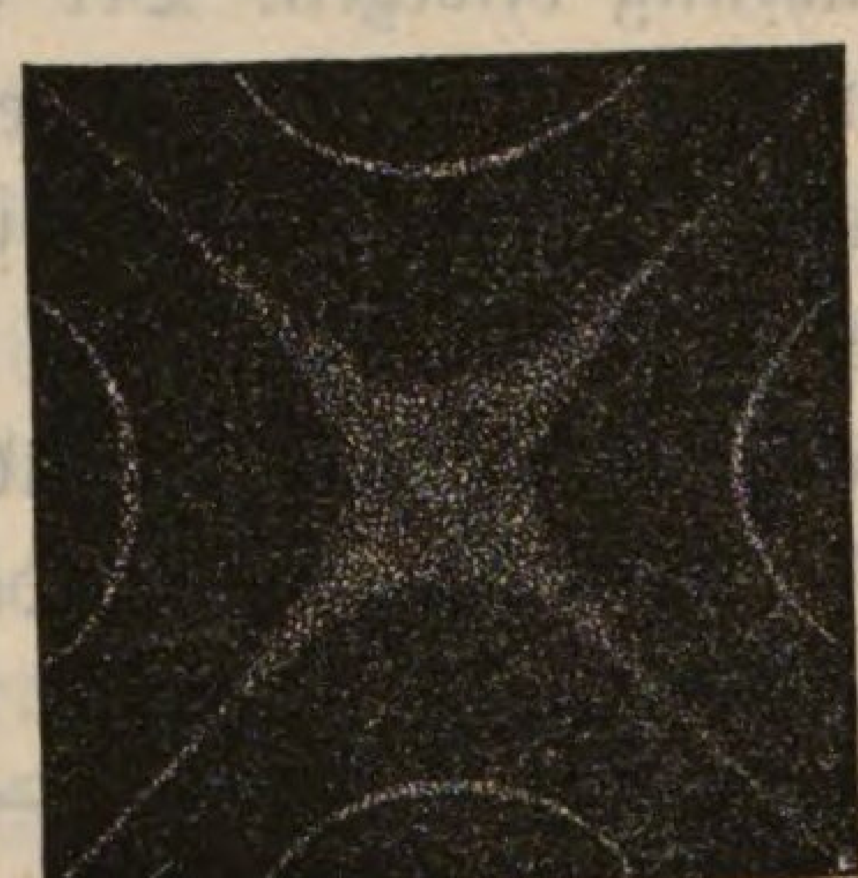


Fig. 111.

Entdecker die Chladnischen Klangfiguren. Berührt man die schwingende Platte an einem oder mehreren Puncten einer Knotenlinie, so wird, da dort ohnehin keine Bewegnng ist, am Ganzen nichts geändert; findet aber die Berührung an einem solchen Puncte statt, wo für sich kein Knotenpunct ist, so ändern sich die Schwingungen der Platte und mit ihnen auch die Klangfigur in der Weise, daß an der berührten Stelle auch ein Knotenpunct zum Vorschein kommt. In den Figuren 108, 109, 110 und 111 sind solche Knotenlinien abgebildet; die Stellen a geben diejenigen Puncte an, an welchen die Platte mit dem Finger berührt werden muß, während man in b mit dem Geigenbogen streicht, wenn man die gegebene Zeichnung erhalten will. Bei allen 4 Figuren ist der Befestigungspunct der Platte in der Mitte. Die Zahl der Klangfiguren, die man unter Abänderung der Bildungsbedingungen erhalten kann, geht in's Unendliche.

Zum Zwecke der Berechnung der Bewegung der schwingenden Saite kann man diese als eine Verbindung von 2 Pendeln betrachten, die in c (Fig. 105) zusammengewachsen sind und deren jedes die Länge l hat, wenn 2l die ganze Saitenlänge bedeutet, und es läßt sich daher die Gleichung 1) §. 81 $T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ anwenden. Bei dem Doppelpendel ist die Schwere g durch die Spannung ersetzt, welche ein Gewicht hervorbringt, das an der über a oder b hinausreichenden Verlängerung der Saite hängt. Diese Spannung ist um so größer, je bedeutender das angehängte Gewicht p und je kleiner die Masse m der Saite ist, auf die sich seine Wirkung vertheilt. Also ist die Schwingungszeit einer Saite auszudrücken durch $t = \pi\sqrt{\frac{lm}{p}}$.

Hängt man an eine andere Saite von der Länge 2L und der Masse M das Gewicht P, so ist ihre Schwingungszeit $T = \pi\sqrt{\frac{LM}{P}}$, woraus sich $t : T = \sqrt{\frac{lm}{p}} : \sqrt{\frac{LM}{P}}$ oder $t^2 : T^2 = \frac{lm}{p} : \frac{LM}{P}$ ergibt.

Die Masse gleichförmiger Saiten m,M ist dem Producte aus der Basis b,B und der Länge l,L proportional und die Basen stehen im Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser d,D, also

$$t^2 : T^2 = \frac{d^2l^2}{p} : \frac{D^2L^2}{P},$$

$$t : T = \frac{dl}{\sqrt{p}} : \frac{DL}{\sqrt{P}}.$$

§. 106. Nimmt man ein langes mürbes Seil, das an dem einen Ende befestigt ist, bei dem andern in die Hand und gibt man ihm, wenn es mäßig gespannt ist, mit der andern Hand einen Schlag, so

beobachtet man, daß von der getroffenen Stelle ausgehend eine Vertiefung dem Seile entlang fortschreitet. Der Reihe nach senken sich die einzelnen Theile des Seiles, während diejenigen, welche vorher sich gesenkt hatten, sich wieder erheben. Ein Berg folgt dem Thale, und wenn ein zweiter Schlag rechtzeitig ausgeführt wird, kann man eine regelmäßige Aufeinanderfolge von Berg und Thal erzielen.

Dieser Vorgang an dem Seile findet sich schematisch in Fig. 112 dargestellt, indem die jeweilige Gestalt des Seiles für 8 verschiedene Zeitpuncte angegeben ist. Gesetzt a) zeige die Gestalt bei dem Beginne der Bewegung, so wird b) den Moment bezeichnen, wo das Theilchen 1 ein Viertheil seiner Oscillation gemacht hat, während 2 und 3 immer weiter zurück sind und 4 eben erst beginnt. In c) ist die Bewegung schon bis zu 7 fortgeschritten, die Schwingungszustände von 4, 5 und 6

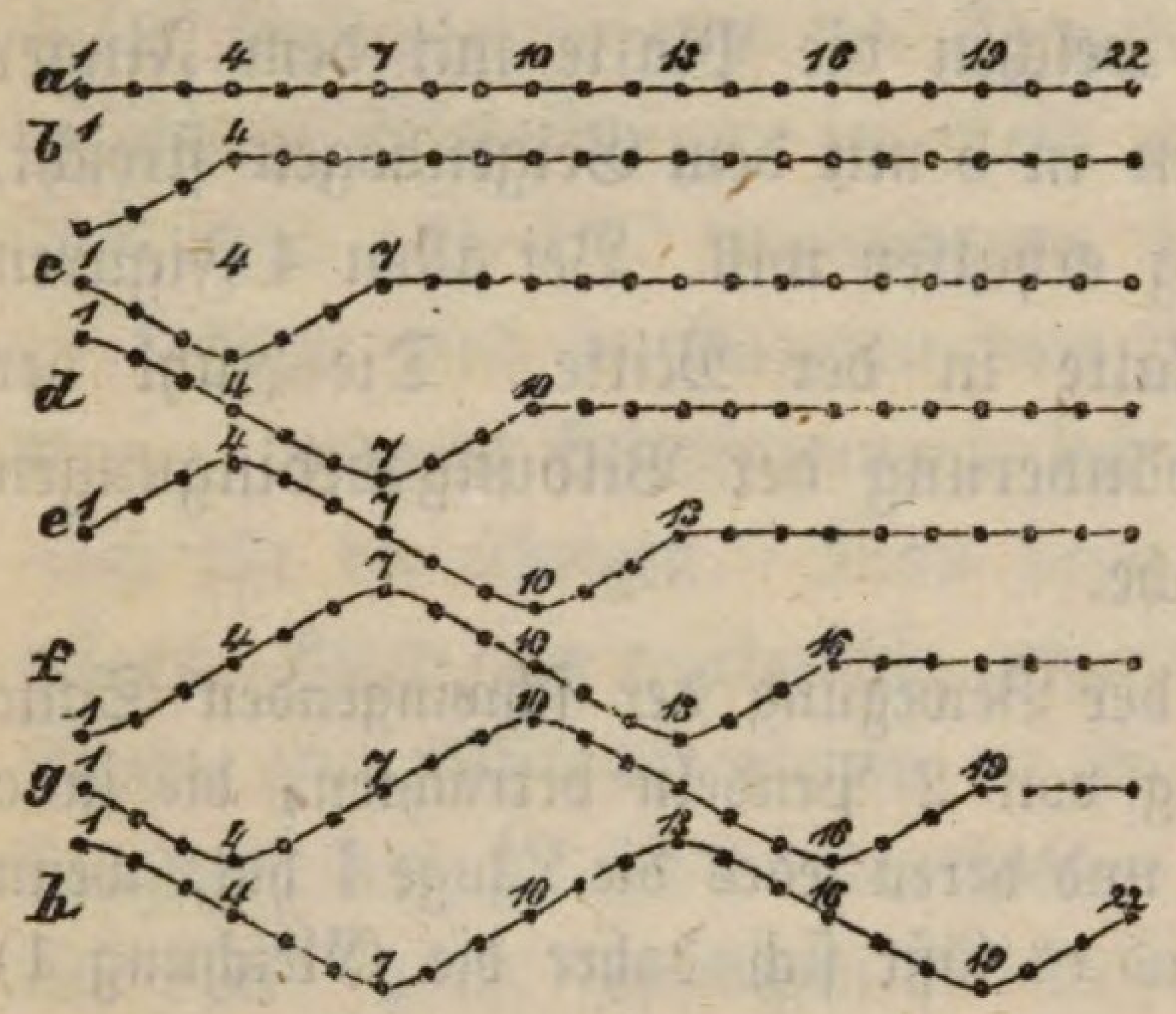


Fig. 112.

entsprechen denen von 1, 2 und 3 in b) und diese letzteren sind indessen weiter gekommen, während 1 bereits wieder an der Ausgangsstelle angelangt ist. In d) ist die Oscillation abermals vorgeschritten und 1 ist nun wieder im Maximum der Ausweichung, aber diesesmal auf der andern Seite der Gleichgewichtslage, als es in b) der Fall war. So geht es weiter bis zu h), welches den Zeitpunct darstellt, in dem die Bewegung bis 22 gekommen ist, während 16, 10, 4 und 1 beziehungsweise $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$ und $\frac{7}{4}$ Schwingungen gemacht haben.

Der Unterschied in der Bewegung der einzelnen Seiltheilchen 1, 2, 3 u. s. w. in Fig. 112 ist je $\frac{1}{12}$ einer ganzen Oscillation, während a), b), c) u. s. w. Stellungen des Seiles angeben, die der Zeit nach so weit verschieden sind, daß die Phase eines Theilchens von der einen Stellung zur andern um $\frac{1}{4}$ Schwingung verschieden ist. In der Natur kommen natürlich solche Unterbrechungen nicht vor, denn sowohl die einzelnen Theilchen des Seiles als die der Zeit sind unmittelbar neben und nach einander und dadurch entstehen die in Fig. 112 angedeuteten Curven, welche in unendlich vielen Abstufungen in einander übergehen. Die jeweilige Geschwindigkeit der Theilchen regelt sich nach dem, was in §. 80 angeführt wurde.

Das auf vorstehende Art in Schwingung versetzte Seil bietet einen Fall von *fortschreitender Oscillation*, denn die einzelnen Theilchen machen zwar den gleichen Weg, thun dieses aber in verschiedenen Zeiten. Man nennt die Curve, welche das schwingende Seil darstellt, eine *Wellenlinie*, die Distanz zwischen je 2 Puncten, die sich in gleicher Phase befinden, heißt die *Länge einer Welle*. Während ein Punct eine ganze Schwingung durchmacht, pflanzt sich die Bewegung um eine Wellenlänge fort. Die Welle geht in der Richtung 1 . . . 22, also horizontal fort, die einzelnen Theile des Seiles dagegen bewegen sich vertical, beide Richtungen stehen daher senkrecht auf einander und man nennt in diesem Falle die Schwingungen *transversale*.

§. 107. Streicht man eine gespannte Saite mit dem Geigenbogen möglichst ihrer Richtung parallel oder reibt man eine dicke Glasröhre mit einem feuchten wollenen Lappen, so erhält man Schwingungen, bei welchen die Richtung der Bewegung der Molecüle und die der Fortpflanzung der Welle zusammenfallen, und man nennt diese Art von Schwingungen *longitudinale*.

Es möge in Fig. 113 die Zeile a den Zustand des Glasrohres für den Fall vorstellen, in welchem sich alle seine Theilchen in der Ruhelage befinden. Durch die erwähnte äußere Wirkung bekommt nun das Theilchen 1 einen Stoß, in Folge dessen es nach einer bestimmten kleinen Zeit sich gegen 2 hin bewegt hat, wie dieses in b zu sehen ist.

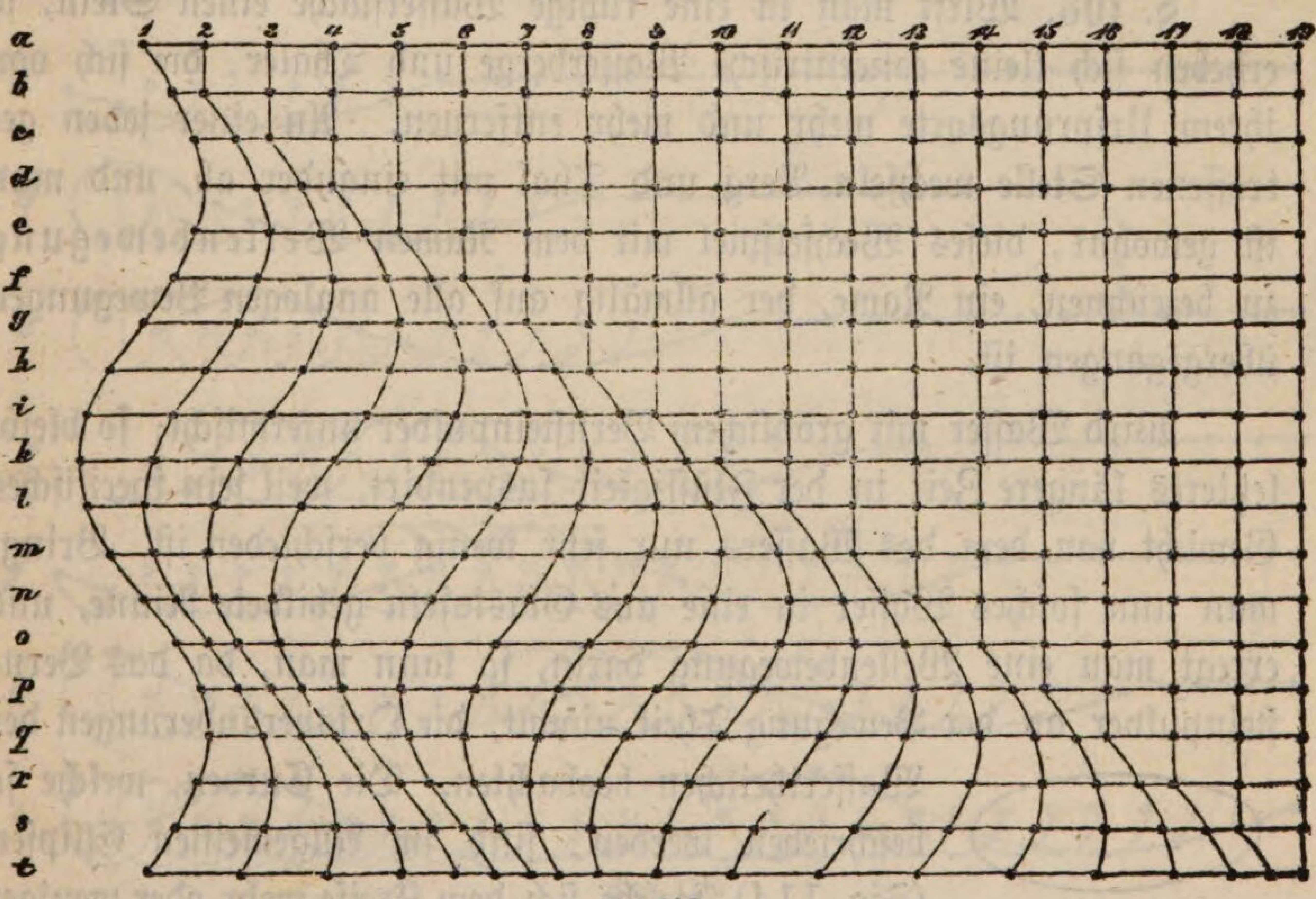


Fig. 113.

Dadurch ist der Molecularabstand der Ruhelage geändert, denn 1 und 2 sind jetzt zu nahe bei einander und da derselbe sich wieder herzustellen sucht, folgt, daß beide Molecüle sich wieder von einander entfernen; 1 mindert seine Geschwindigkeit, 2 geht gegen 3 hin. In d hat 1 seine Bewegung gänzlich verloren, während 4 eben seinen Stoß bekommt, sich also in demselben Falle befindet, in welchem vorhin 2 war; 1 geht von nun an zurück, 4 geht voran. So geht es weiter und im Verlauf der Zeit macht jedes Molecül, aber immer eines nach dem andern, seine Schwingung durch, wie dieses nach der in Fig. 83 angegebenen Norm vorgeschrieben ist, wenn man dort annimmt, daß der ursprüngliche Ort des Molecüles in c ist und die Figur um 90° dreht, damit acm horizontal wird. In n hat das Molecül 1 eine vollständige Schwingung gemacht und rüstet sich zu einer zweiten, während 13 eben die erste beginnt. Auch hier ist wieder der Abstand zweier Molecüle, welche sich in gleicher Phase befinden, von denen aber das eine um eine Schwingung mehr gemacht hat als das andere, eine Wellenlinie, also 1 . . . 13, 2 . . . 14 u. s. w. In t hat 1 anderthalb Schwingungen gemacht, das eine Wellenlänge hinter ihm liegende 13 eine halbe und das noch eine halbe Wellenlänge weiter entfernte 19 beginnt eben, befindet sich also in derselben Phase wie das eine Wellenlinie vor ihm liegende Theilchen 7.

§. 108. Wirft man in eine ruhige Wasserfläche einen Stein, so erheben sich kleine concentrische Wasserberge und Thäler, die sich von ihrem Ursprungsorte mehr und mehr entfernen. An einer jeden getroffenen Stelle wechseln Berg und Thal mit einander ab, und man ist gewohnt, dieses Wechselspiel mit dem Namen Wellenbewegung zu bezeichnen, ein Name, der allmälig auf alle analogen Bewegungen übergegangen ist.

Wird Wasser mit gröblichem Bernsteinpulver untermischt, so bleibt letzteres längere Zeit in der Flüssigkeit suspendirt, weil sein specifisches Gewicht von dem des Wassers nur sehr wenig verschieden ist. Bringt man nun solches Wasser in eine aus Glastafeln gebildete Rinne, und erregt man eine Wellenbewegung darin, so kann man, da das Bernsteinpulver an der Bewegung Theil nimmt, die Ortsveränderungen der Wassertheilchen beobachten. Die Curven, welche so beschrieben werden, sind im Allgemeinen Ellipsen (Fig. 114), welche sich dem Kreise mehr oder weniger

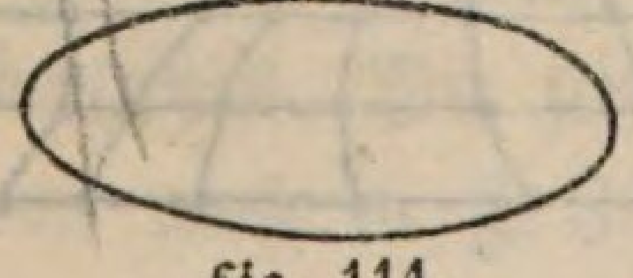


Fig. 114.

nähern, und in diesem Falle bewegen sich also die Wassertheilchen in einer geschlossenen Bahn, denn sie kehren zu ihrem Ausgangspuncte zurück; in fließendem Wasser oder wenn die auf einander folgenden Wellen ungleich sind, kommen auch Bahnen (Fig. 115) vor, die nicht geschlossen sind. Die in verschiedenen Entfernungen vom Ausgangspuncte der Wellen liegenden Wassertheilchen beschreiben ihre Bahnen in verschiedenen Zeiten, also haben wir auch hier **fortschreitende Oscillationen.**

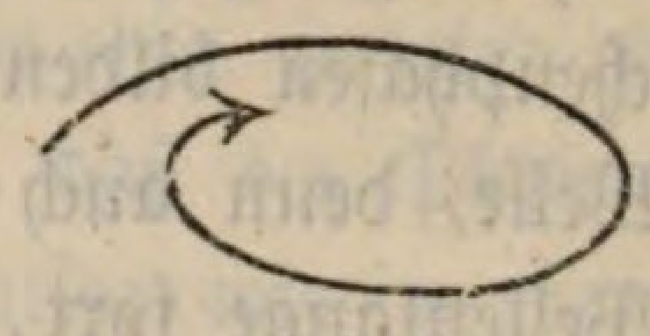


Fig. 115.

Stellt Fig. 116 die Vorgänge bei einer Reihe in gleichen Entfernungen von einander abstehender Molecüle dar, von denen wir annehmen wollen, daß sie kreisförmige Bahnen beschreiben, so gibt a den ursprünglichen Stand an, wo also das erste Molecül seinen Lauf eben beginnt. In b hat dieses erste Theilchen ein Viertheil seines Weges durchlaufen und 4 fängt an sich zu bewegen. Bedeuten die kleinen vollen Kreise die gegenwärtige Stellung der Theilchen, die leeren ihren ursprünglichen Platz, so ergibt sich für diese Theilchen 1—4 eine Curve, welche die zwischen den einzelnen liegenden in der Figur weggelassenen Molecüle ergänzt. In c hat das erste Theilchen einen ganzen Umlauf

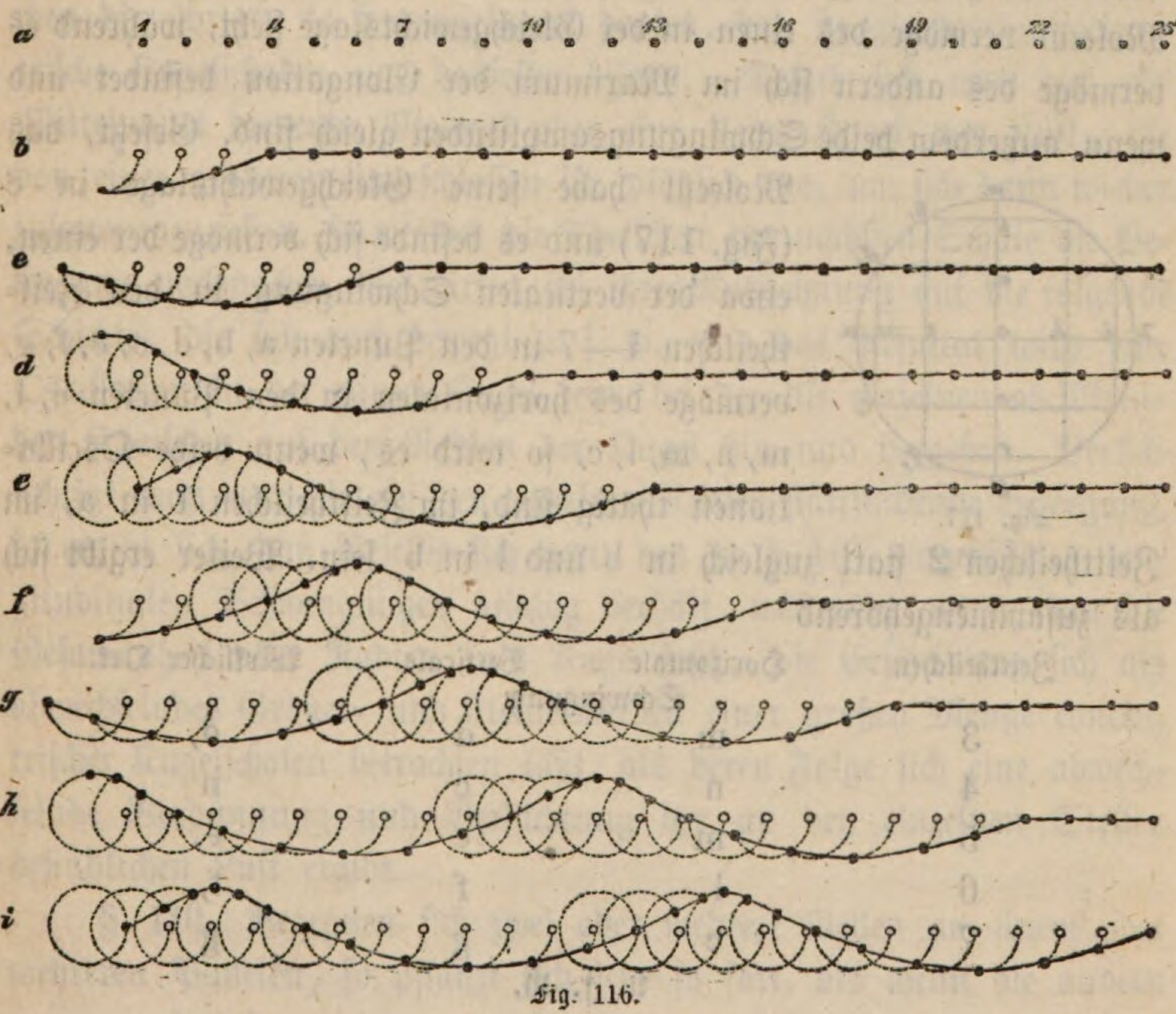


Fig. 116.

gemacht und beginnt einen neuen, während 13 eben zum erstenmale anfängt. Beide Theilchen befinden sich von nun an stets in gleichen Schwingungszuständen, während die zwischen ihnen liegenden die Zwischenphasen bilden; der Weg 1 — 13 ist daher wieder die Länge der Welle, denn auch hier pflanzt sich die Bewegung wie früher um eine Wellenlänge fort, während das erste Theilchen eine Oscillation vollendet. Beschreibt 1 seinen Kreis wiederholt, so bildet sich eine neue Welle und 1 hat in i seinen zweiten Kreislauf vollendet, wenn 25 mit dem ersten beginnt. So geht Welle um Welle weiter, die Bewegung pflanzt sich fort; aber (und dies ist der characteristische Unterschied zwischen der Wellenbewegung und den früher besprochenen) die einzelnen bewegten Körper sind am Ende doch an derselben Stelle, an der sie ursprünglich waren.

Die Bewegung der Wassermolecüle in Kreisen ist strenge genommen nicht eine eigenthümliche Art der Oscillation, sondern eine Combination der transversalen und der longitudinalen Schwingung. Man sieht nämlich leicht, daß ein Theilchen eine Kreisbahn durchlaufen muß, wenn es gleichzeitig den beiden erwähnten Schwingungen gehorcht, sobald diese zwei Systeme sich so gegen einander verhalten, daß das Molecül vermöge des einen in der Gleichgewichtslage steht, während es vermöge des andern sich im Maximum der Elongation befindet und wenn außerdem beide Schwingungsamplituden gleich sind. Gesetzt, das

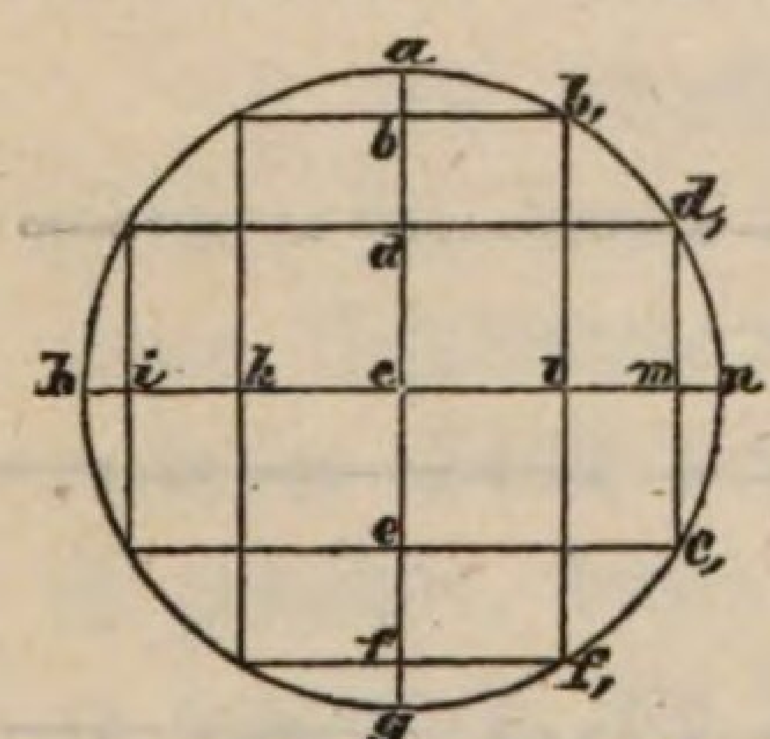


Fig. 117.

Molecül habe seine Gleichgewichtslage in c (Fig. 117) und es befinde sich vermöge der einen, etwa der verticalen Schwingung in den Zeittheilchen 1—7 in den Puncten a, b, d, c, e, f, g, vermöge des horizontalen in den Puncten c, l, m, n, m, l, c, so wird es, wenn beide Oscillationen thätig sind, im Zeittheilchen 1 in a, im Zeittheilchen 2 statt zugleich in b und l in b, sein. Weiter ergibt sich als zusammengehörend

Zeittheilchen	Horizontale	Verticale	Wirklicher Ort.
	Schwingung		
3	m	d	d,
4	n	c	n
5	m	e	e,
6	l	f	f,
7	c	g	g

u. s. w.

Das Molecül bewegt sich also mit gleichförmiger Geschwindigkeit in einem Kreise.

Sind die beiden Schwingungsamplituden nicht gleich, so wird die Bahn des Molecüles eine elliptische; verschwindet die eine, so wird die Bewegung linear. Außerdem können noch dadurch, daß der Phasenunterschied der beiden Schwingungen nicht $\frac{1}{4}$ Oscillation wie im ebenerwähnten Falle, sondern mehr oder weniger beträgt, verschiedene Bahnen zum Vorschein kommen.

Im Wasser nehmen die unter einander befindlichen Schichten an den Bewegungen der Oberfläche Theil; doch werden die Curven der Molecüle allmählig kleiner und verschwinden endlich, wenn auch im Allgemeinen erst in einer Tiefe, die das 350fache der Höhe der Welle d. h. der Differenz von Berg und Thal übersteigt. Die Geschwindigkeit der Wellen wächst, wenn ihre Höhe und die Tiefe des Wassers bedeutender wird. Im Meere beträgt ihre Geschwindigkeit 10—30 Meter. Die Fluth ist eine Welle von ungeheurer Größe.

§. 109. Auch Luftarten können in Oscillation gerathen. Nimmt man an, in irgend einem Raume seien die Luftmolecüle gleichmäßig vertheilt, was in der Atmosphäre wenigstens bei kleineren Quantitäten sehr nahe der Fall ist, so kann man sich um irgend ein beliebiges Theilchen die übrigen so herumgelagert denken, daß sie gleichartige concentrische Kugelschalen um dasselbe bilden. Dehnt sich nun das als Mittelpunct dienende Molecül oder eine kleine Kugel von Luft, die von einer größeren eingeschlossen ist, plötzlich aus, um sich dann wieder zusammenzuziehen, so werden die Theilchen der nächsten Schale die Bewegung nachmachen, sie wirken bei ihrer Ausdehnung auf die folgende Schichte, die sich auch bewegt u. s. w. und das Resultat wird eine Oscillation in der ganzen Kugel sein, bei der die einzelnen oscillirenden Theilchen auf den Radien der Kugel hin und hergehen. Berücksichtigt man nur die auf den einzelnen Radien stattfindende Bewegung, so ergibt sich, daß dieselbe sich ganz den in §. 107 angeführten longitudinalen Schwingungen analog verhält, während, wenn man die Gesammtheit aller Radien in's Auge faßt, die Erscheinung sich als abwechselndes Größer- und Kleinerwerden einer großen Menge concentrischer Kugelschalen betrachten läßt, als deren Folge sich eine abwechselnde Verdünnung und Verdichtung der an den einzelnen Stellen befindlichen Luft ergibt.

§. 110. Begegnen sich zwei oder mehrere Wellen an einem oder mehreren Puncten, so pflanzt sich jede so fort, als wenn die andern

gar nicht vorhanden wären, und die Bewegung der von mehreren Systemen gleichzeitig afficirten Molecüle hängt von dem jeweiligen Zusammenwirken der einzelnen Wellen ab. Wenn ein Theilchen wegen einer jeden darauf wirkenden Welle eine Bewegung in dem gleichen Sinne macht, so ist das Resultat der Geschwindigkeit sowohl als der Elongation gleich der Summe aller Einzelwirkungen, im entgegengesetzten Falle gleich deren Differenz. Es kann daher vorkommen, daß zwei oder mehrere Wellen einander verstärken, sie können sich aber auch schwächen, ja sogar gänzlich aufheben. Man nennt diese Erscheinung die Interferenz der Wellen.

Bewegen sich zwei Wellen A und B (Fig. 118) an einem Seile fort, so kommt statt der in der Figur angegebenen Einzelstellungen des

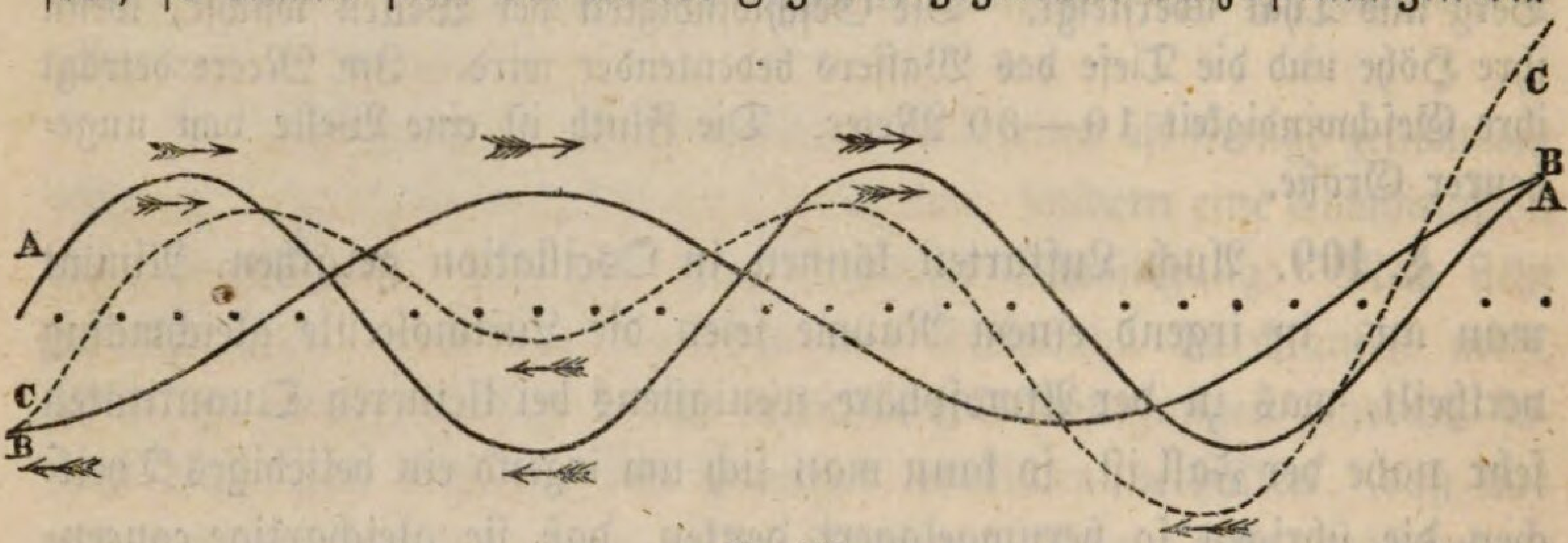


Fig. 118.

Seiles die durch die Curve C dargestellte Welle zum Vorschein. Allenthalben ist die Elongation von C gleich der Summe oder der Differenz der Elongationen von A und B, je nachdem beide auf derselben oder auf den entgegengesetzten Seiten der durch die Puncte angegebenen Gleichgewichtslage stehen. Ist die Phase zweier Wellen stets gleich, so addiren sich ihre Elongationen jederzeit (Fig. 119); ist die eine Welle

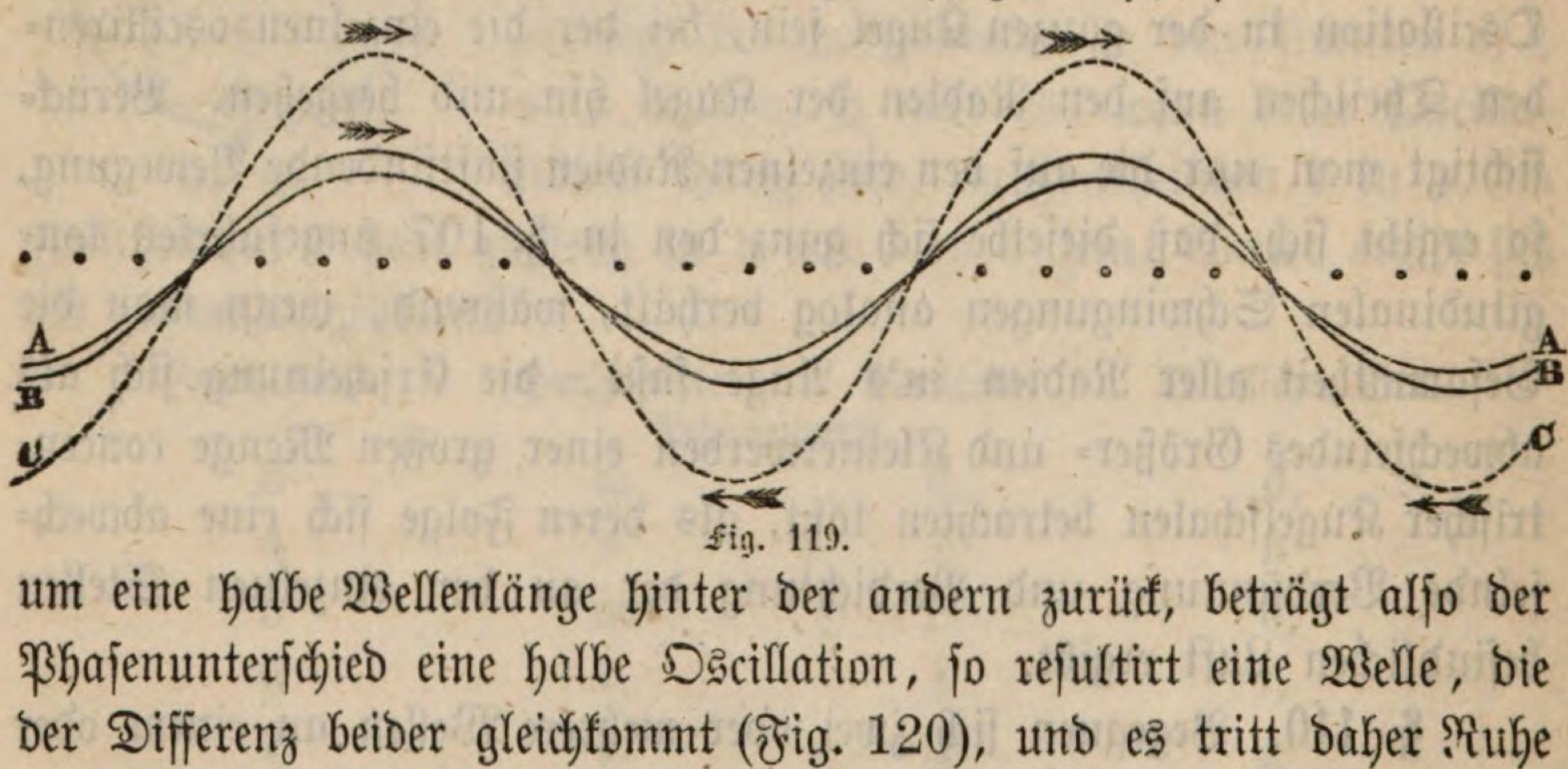


Fig. 119.

um eine halbe Wellenlänge hinter der andern zurück, beträgt also der Phasenunterschied eine halbe Oscillation, so resultirt eine Welle, die der Differenz beider gleichkommt (Fig. 120), und es tritt daher Ruhe ein, wenn die beiden componirenden Systeme gleich sind.

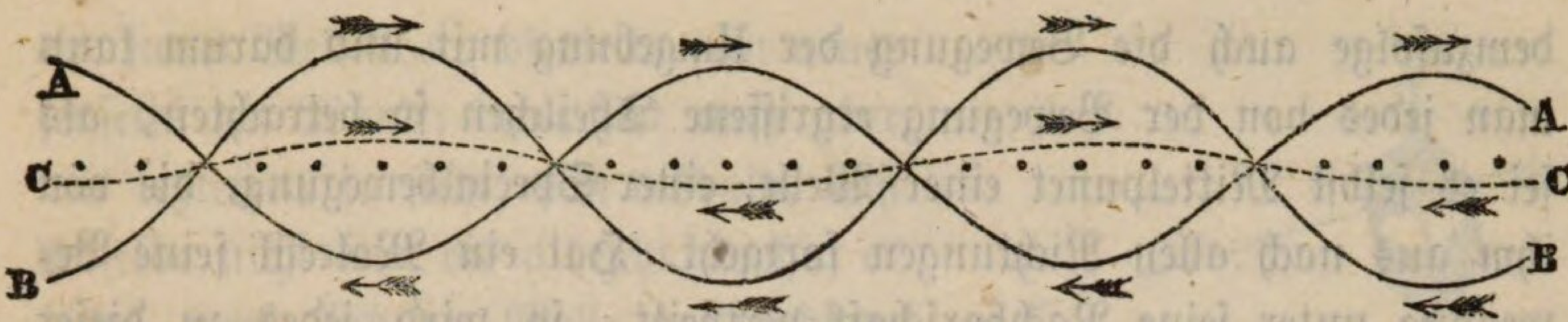


Fig. 120.

Was für die Transversalschwingungen gilt, findet natürlich auch auf die Longitudinalschwingungen seine Anwendung und auch die jeweilige Geschwindigkeit der Molecüle unterliegt dem gleichen Gesetze.

Stellen die Figuren 118, 119 und 120 nicht die jeweiligen Elongationen, sondern die Bewegungen der Molecüle in der Weise vor, daß die auf der einen Seite der Gleichgewichtslage befindlichen Curventheile die Richtung in dem einen Sinne, die auf der andern liegenden die Bewegungsrichtung in dem entgegengesetzten Sinne bedeuten, wie dieses durch die Pfeile angegeben ist, zeigen außerdem die Entfernungen der Curventheile von der Gleichgewichtslage die denselben entsprechenden Geschwindigkeiten, so kommen ebenfalls wieder die Curven C zum Vorschein, welche nun das Resultat an Richtung und Geschwindigkeit angeben. Es bewegen sich also die Molecüle in dem einen oder dem andern Sinne, je nachdem sie auf einer Seite der die Gleichgewichtslage repräsentirenden Horizontalen liegen, und sie thun dieses schneller oder langsamer, je nachdem der Curventheil mehr oder weniger weit von dieser Horizontalen entfernt ist.

Sind A und B (Fig. 121) die Mittelpuncte zweier gleichen Systeme und bedeuten die ausgezogenen und nicht ausgezogenen Kreise die Berge und Thäler derselben, so entsteht überall da, wo Berg und Berg zusammentreffen, ein Berg von doppelter Höhe, wo Thal und Thal zusammenkommen, ergibt sich ein Thal von doppelter Tiefe und an denjenigen Stellen, wo Berg und Thal zusammentreffen, heben sich die Bewegungen als einander entgegengesetzt auf.

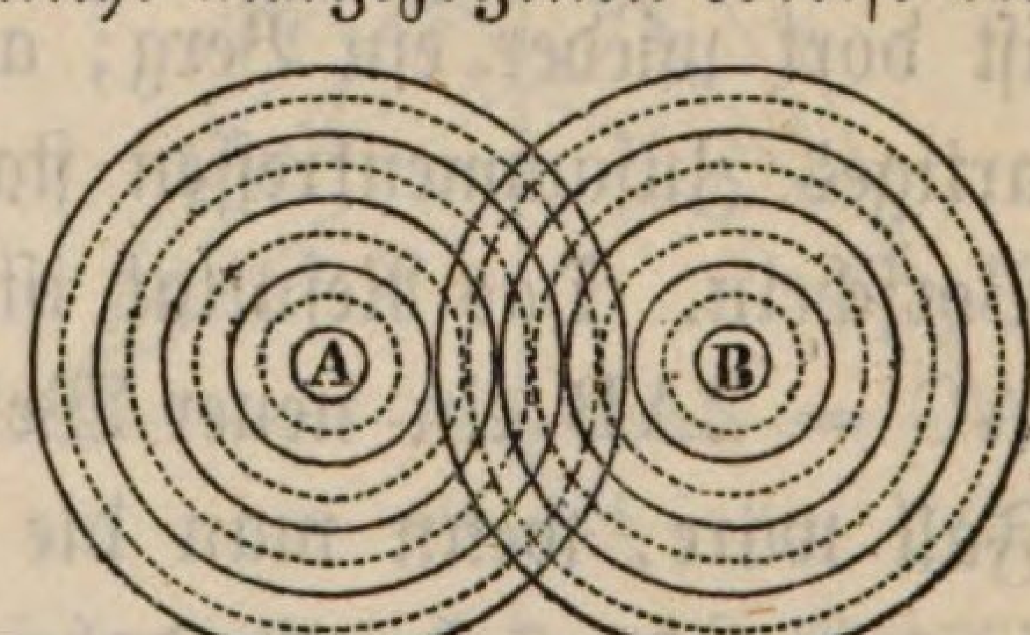


Fig. 121.

§. 111. Wenn man sei es durch was immer für ein Mittel ein Molecül eines Körpers zu schwingen veranlaßt, so theilt es, wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, seine Bewegung den andern mit, von denen es umgeben ist; dadurch gerathen diese alle in den nämlichen Zustand, in den das erste versetzt wurde d. h. sie schwingen, theilen

demzufolge auch die Bewegung der Umgebung mit und darum kann man jedes von der Bewegung ergriffene Theilchen so betrachten, als sei es selbst Mittelpunct einer Welle, einer Specialbewegung, die von ihm aus nach allen Richtungen fortgeht. Hat ein Molecül seine Bewegung unter seine Nachbarschaft vertheilt, so wird jedes zu dieser Nachbarschaft gehörende Körperchen als Theil des Ganzen auch nur einen Theil der Bewegung bekommen haben, und wenn es selbst wieder als Wellenmittelpunct wirkt, seine Bewegung also rings herum austheilt, so muß das was von letzterer wieder auf ein einzelnes Theilchen kommt, klein genug ausfalleu, wenn aber viele solche Wellen zweiter Ordnung zusammenkommen, so wird ihr Effect bedeutender.

Ist z. B. Fig. 122 die von A ausgehende Bewegung nach der Zeit t um eine Wellenlänge vorgerückt, so mag der Kreis B einen Berg vorstellen; dieser Berg besteht aber aus einer ganzen Menge von Molecülen, von denen wieder jedes als Mittelpunct von einer secundären Welle betrachtet werden kann. Alle diese secundären Wellen breiten sich aus, und nach abermaligem Verlaufe von t ist jede derselben um eine Wellenlänge vorgerückt. Die Berge treffen alle wieder in A zusammen und daher kommt dort wieder ein Berg zum Vorschein. Andererseits kommen in dem Kreise C wieder alle Berge zusammen, also ist dort wieder ein Berg; an den andern Puncten aber findet kein derartiges Zusammentreffen statt, also kommt dort auch kein Berg zum Vorschein. Das Resultat ist demnach das, daß sich in der Entfernung AC = 2AB ein neuer Wellenberg erhebt, gerade wie dieses auch der Fall wäre, wenn man die Bewegung nur von A ausgehend gedacht hätte, und es konnte daher in den vorhergehenden Paragraphen von dieser letzteren Annahme ausgegangen werden.

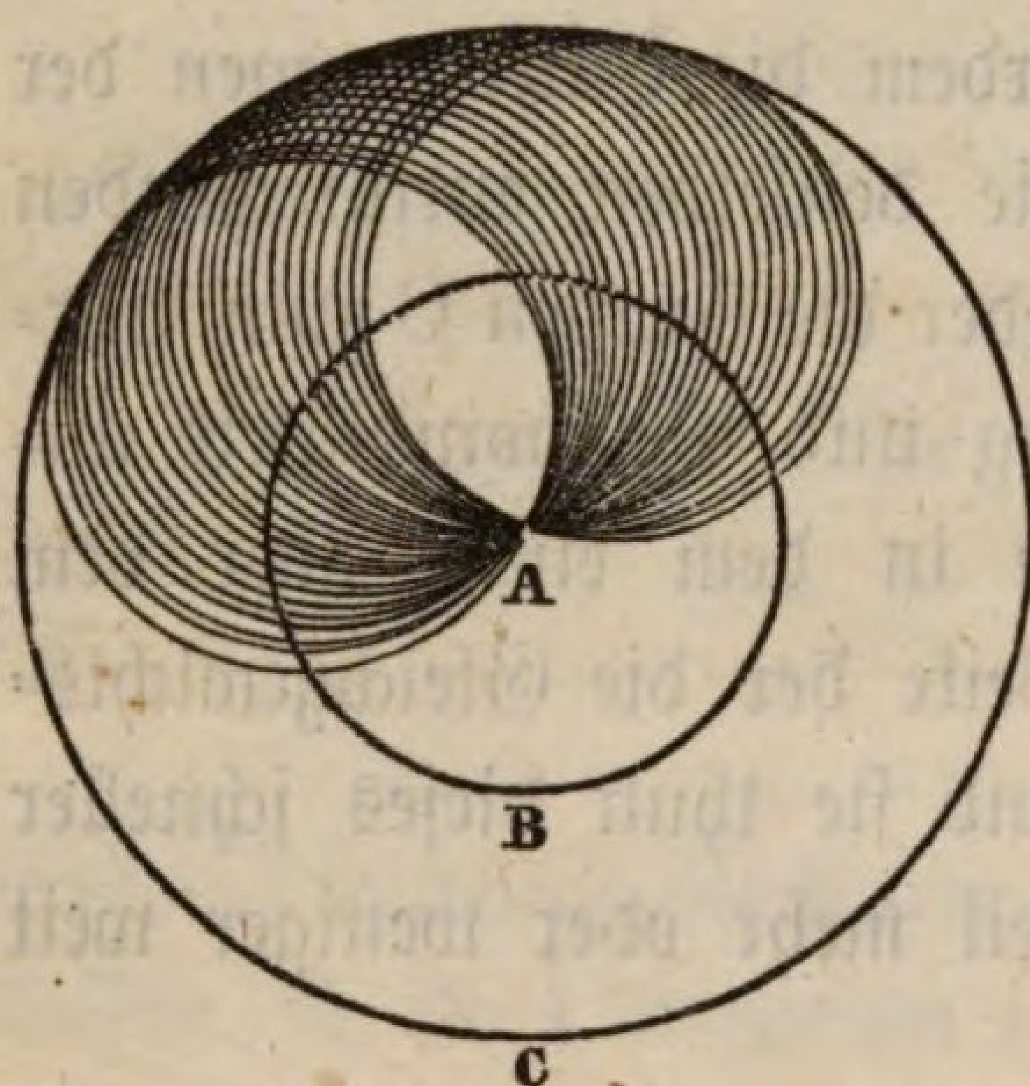


Fig. 122.

§. 112. Entsteht eine Welle in C (Fig. 123) und ist dieselbe nach Verlauf einiger Zeit an einer mit einem Loche ab versehenen Wand fg angekommen, so mag die Curve zwischen a und b einen Wellenberg vorstellen und die kleinen Kreise geben dann die secundären Wellen an, welche die Puncte des in der Nähe von a befindlichen Theiles von ab um sich entstehen lassen. Durch die Vereinigung aller dieser kleinen Wellen entsteht nach Umlauf einer neuen Schwingungszeit

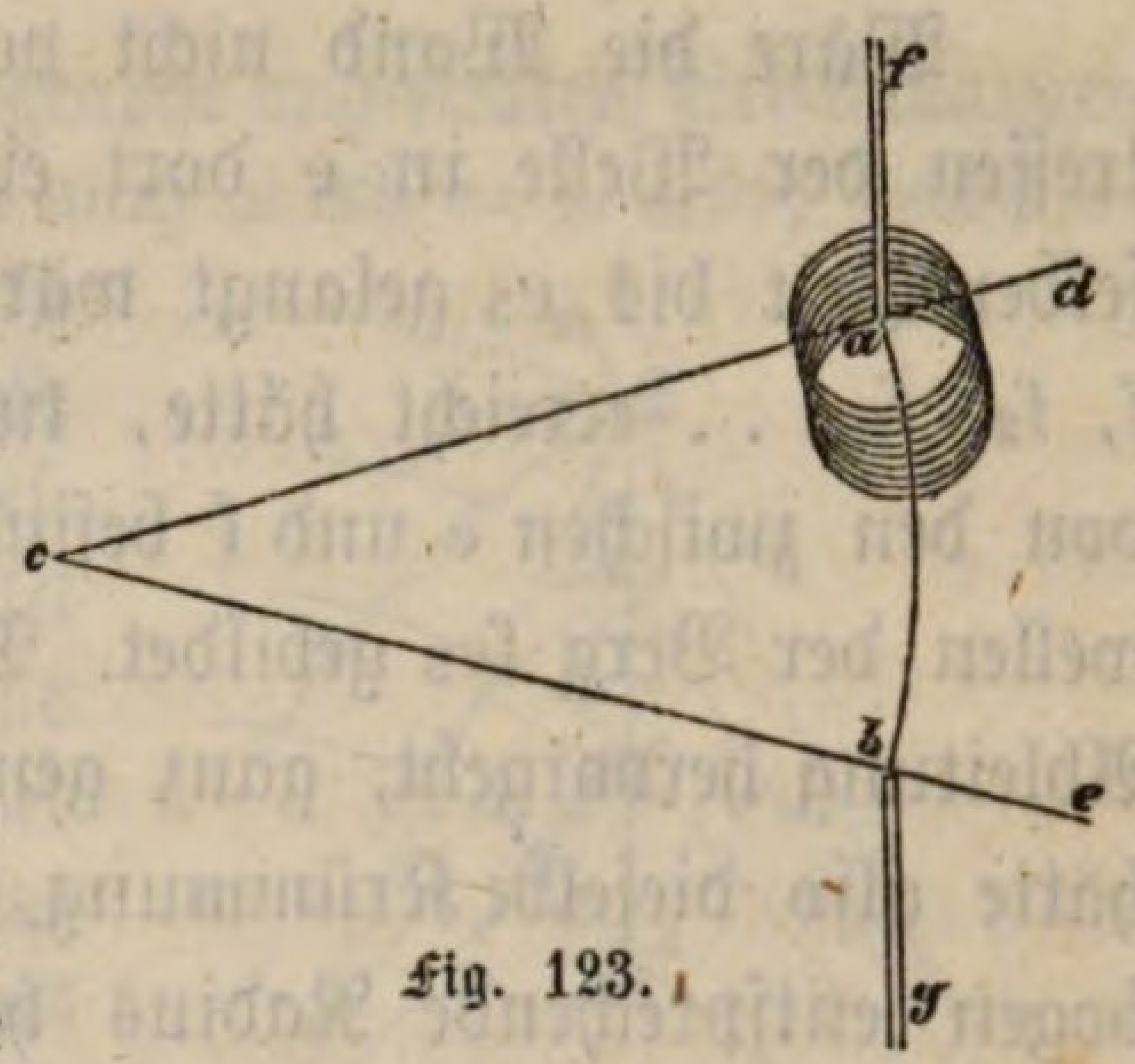


Fig. 123.

ein neuer Wellenberg diesseits, ein neuer jenseits der Wand; betrachtet man aber den letzteren, so sieht man alsbald, daß derselbe nicht nur bis d reicht, wohin er käme, wenn sich die Welle nur radienförmig von c aus verbreiten würde, sondern daß auch der Raum zwischen d und der Wand noch einen Theil der Bewegung erhält, daß also die Welle um die Ecke geht. Selbstverständlich ist die Bewegung zunächst der Wand verschwindend klein; sie ist aber in der Nähe der Geraden cd, wo noch ein Zusammenwirken einer größeren Anzahl von secundären Wellen stattfindet, recht gut wahrzunehmen. Man nennt diesen Vorgang die Beugung der Wellen.

§. 113. Kommt eine Welle während ihres Laufes an eine feste Wand, so wird sie reflectirt d. h. sie geht wieder zurück und zwar gerade so, als käme sie von einem Puncte, der eben so weit hinter der Wand liegt, als der wirkliche Ursprungsort sich vor derselben befindet. Geht (Fig. 124) eine Welle von c aus und stößt sie an die Wand AB, so wird, wenn ee_1, ff_1, gg_1, hh_1 die Stellungen eines Berges in verschiedenen auf einander folgenden Zeiten darstellen, der Punct e derjenige sein, an welchem die Wand zuerst berührt wird. In dem Augenblicke, wo dieses geschieht, entsteht um e herum eine neue Welle und bis die ursprüngliche Bewegung bis f vorgedrungen ist, ist die letztere bis e_2 gelangt. Um alle Puncte, die sich zwischen e und f befinden, haben sich mittlerweile ebenfalls Wellenkreise gebildet, aber die Radien derselben sind um so kleiner, je näher sie bei f liegen, weil sie von der ursprünglichen Welle um so später erreicht werden und nach §. 111 bilden alle diese kleinen Wellen zusammen einen größeren Berg, der durch e_2f angegeben ist. Kommt die ursprüngliche Welle nach g, so hat sich mittlerweile um f eine kleine Welle gebildet, die bis f_2 vorgedrungen ist, während die von e_1 ausgehende Welle in e_3 anlangte, und durch Verbindung aller zwischen e und g entstandenen Elementarwellen entsteht die größere e_3g. Ebenso bildet sich die Welle e_4h u. s. w.

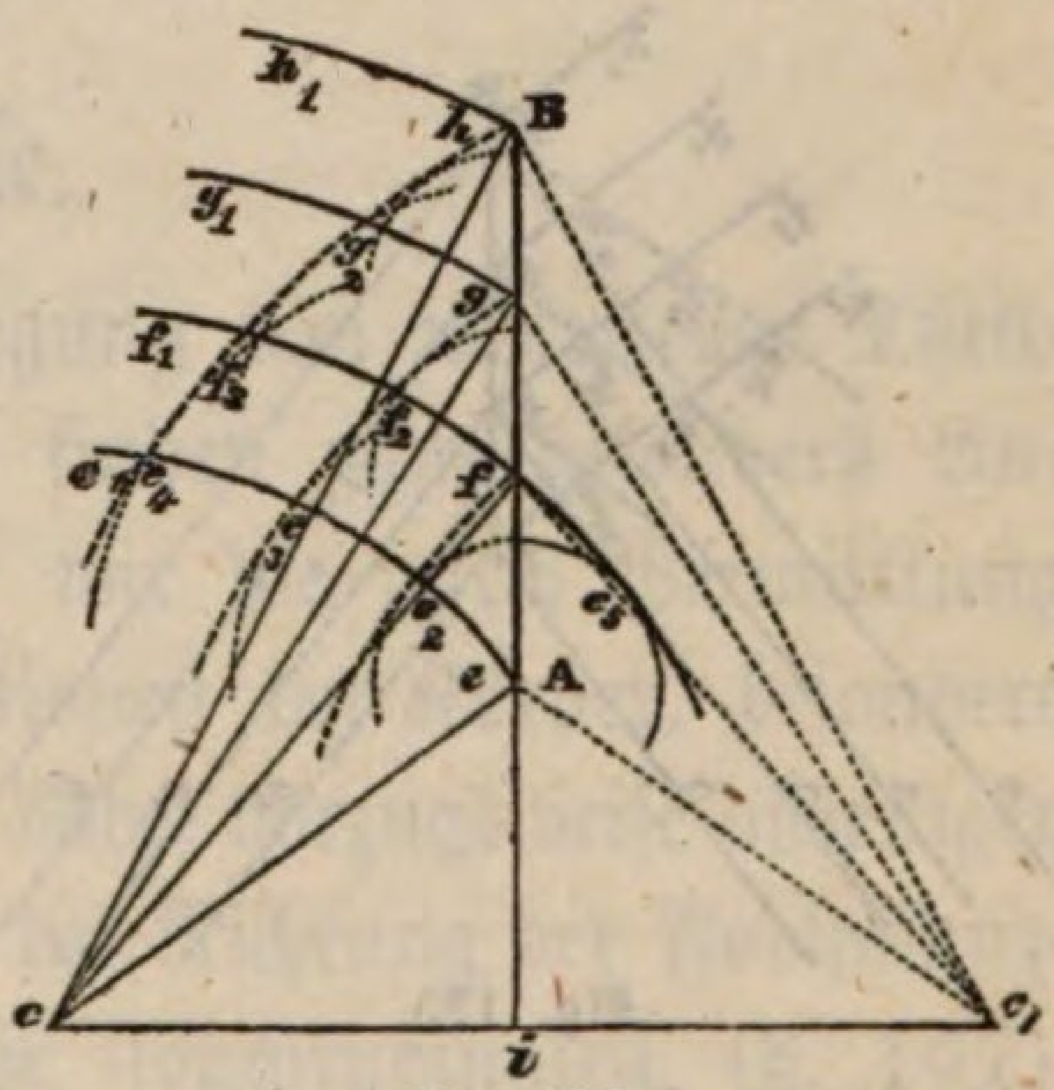


Fig. 124.

Wäre die Wand nicht vorhanden, so hätte sich nach dem Eintreffen der Welle in e dort eine Elementarwelle gebildet, die in derselben Zeit bis e_5 gelangt wäre, in welcher der übrige Theil der Welle f, f_2, f_3 . . . erreicht hätte, kurz es hätte sich durch Verbindung der von den zwischen e und f befindlichen Puncten ausgehenden Elementarwellen der Berg fe_5 gebildet. Dieser Berg würde, wie aus der ganzen Ableitung hervorgeht, ganz genau so ausgefallen sein wie der Berg fe_2, hätte also dieselbe Krümmung, und der dem von ihm gebildeten Kreisbogen entsprechende Radius hätte genau dieselbe Größe wie der des Kreisbogens fe_2. Außerdem ergibt sich sehr leicht, daß $\angle c_1fe = \angle cfe$, es muß also der Mittelpunct c_1 der reflectirten Welle eben so weit hinter i, dem Durchschnittspuncte der verlängerten Wand mit der Linie cc_1 liegen, als c vor demselben ist. Es ist also $ci = ci_1$.

Je weiter eine Welle sich von ihrem Ursprunge entfernt hat, um so geringer wird, wie aus der Betrachtung von Fig. 124 hervorgeht, die Krümmung der Linien, welche die Puncte von gleicher Phase mit einander verbinden, denn sie sind Bogen immer größerer Kreise, und ist die Entfernung sehr groß, so kann man kleine Stücke dieser Linien als ganz gerade betrachten. Fig. 125 zeigt, wie die Reflexion einer solchen Welle sich darstellt. Fig. 124 und Fig. 125 entsprechen sich vollkommen, nur haben sich in letzterer die früheren Curven in Gerade umgewandelt und die Elementarwellen sind weggelassen. Es kommt die Welle in der Richtung ce an und sie wird nach der Richtung der auf e_2f senkrechten c_1e reflectirt; sie bewegt sich dann gerade so, als käme sie von dem unendlich weit entfernten Puncte her, in dem sich die Geraden ec_1, fc_1 u. s. w. schneiden.

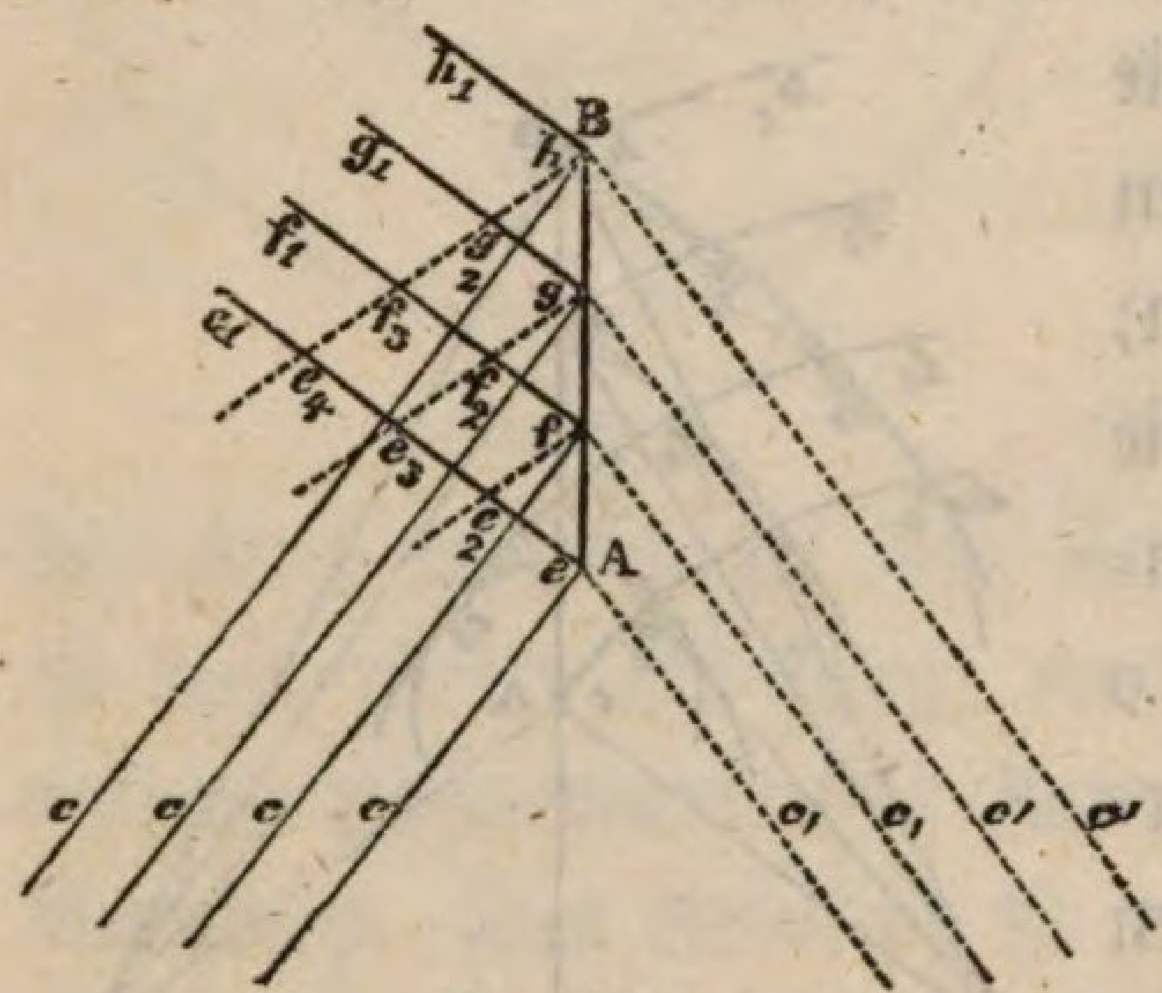
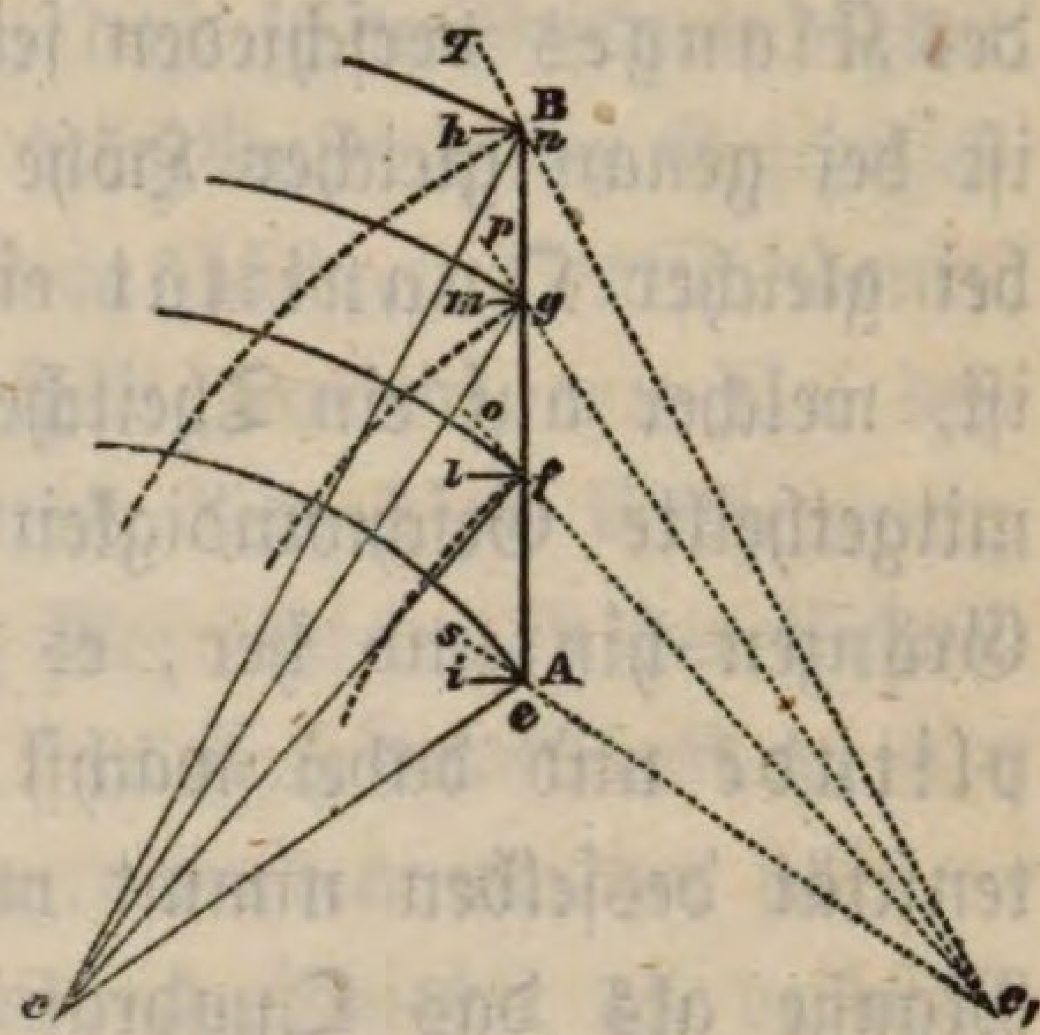


Fig. 125.

Errichtet man an dem von einem Wellenstrahle ce, cf, cg (Fig. 126) jeweilig getroffenen Puncte e, f, g der Wand eine auf derselben senkrecht stehende Gerade ei, fl, gm, so bilden die einfallenden Strahlen ce, cf, cg mit diesen Senkrechten die Winkel cei, cfl, cgm, welche **Einfallswinkel** heißen, während die reflectirten Strahlen es, fo, gp mit denselben Senkrechten die Winkel ies, lfo, mgp, die **Reflexionswinkel**, machen. Nach den Gesetzen der Reflexion ist der **Einfallswinkel** dem **Reflexionswinkel** gleich.

Es ist nach den oben in diesem Paragraphe angestellten Betrachtungen (Fig. 126) $\triangle\, cfe \cong \triangle\, c_1fe$, darum ist auch $\sphericalangle cfe = \sphericalangle c_1fe$; weil aber $\sphericalangle c_1fe = \sphericalangle ofg$, so ist auch $\sphericalangle cfe = \sphericalangle ofg$ und der Einfallswinkel $cfl = 90^0 - \sphericalangle cfe = 90^0 - \sphericalangle ofg$ = dem Reflexionswinkel. Dasselbe Resultat ergibt sich für die Winkel cei und sei, wie auch für cgm und pgm. Das Reflexionsgesetz ist ganz allgemein, gilt daher auch für jede Entfernung des Ursprungsortes der Welle und darum erhält man auch aus Fig. 125 das gleiche Resultat.


Fig .126.

Ist der reflectirende Gegenstand eine Curve, so befolgen die Strahlen der Wellen dasselbe Gesetz, dem sie bei ebenen Flächen gehorchen; es wird die auf dem jeweilig getroffenen Puncte errichtete Normale die Größe des Einfalls- und des Reflexionswinkels bestimmen.

Wenn eine Welle an einer festen Wand reflectirt wird, so sind, wie sich aus Fig. 124 und 125 sehr leicht ergibt, Interferenzen der ankommenden und der reflectirten Welle die unmittelbare Folge. Ist die Wand keine Ebene, hat sie eine unregelmäßige Gestalt, so folgt auch ein Durcheinander von sich durchsetzenden Wellen und dadurch ergibt sich das manchfaltige Wellenspiel, das man an unregelmäßig gebildeten Uferstrichen wahrnimmt.

Vom Schalle.

§. 114. Die Gesetze der Wellenbewegung von materiellen Theilchen, die der Schwere unterworfen sind, finden ganz besonders Anwendung bei dem Schalle, als welchen wir die durch Vermittlung des Gehörorganes wahrnehmbaren Oscillationen der Körper, besonders der Luft, zu betrachten haben. Es finden dabei vorzugsweise diejenigen Schwingungen Berücksichtigung, welche in der Richtung der Fortpflanzung der Bewegung stattfinden, also die longitudinalen (§. 107), während die transversalen Schwingungen geringere Bedeutung haben.

Wenn durch irgend eine Veranlassung wie z. B. durch das Losschießen einer Flinte eine Erschütterung (Wellenbewegung) der Luft entstanden ist, die sich jedoch nicht wiederholt, so nimmt unser Ohr, zu dem sie sich allmählig fortpflanzt, dieselbe wahr. Man heißt sie Knall. Folgen mehrere Wellen unregelmäßig auf einander, so bringen sie das Geräusch hervor, einen Ton aber, wenn sie ein bestimmtes Gesetz genau einhalten. Der Ton heißt ein hoher, wenn die Oscillationen einander rasch folgen, ein tiefer, wenn dieses nicht der Fall ist. Die Höhe eines Tones, seine Quantität, richtet sich genau nach der

Anzahl von Schwingungen, welche in einer gegebenen Zeit das Ohr treffen. Töne von gleicher Höhe können bezüglich der Qualität oder des Klanges verschieden sein. Der Ton, den ein Blechinstrument gibt, ist bei genau gleicher Höhe von dem der Flöte verschieden, jeder hat bei gleicher Quantität eine andere Qualität. Je stärker der Stoß ist, welcher auf ein Theilchen wirkt, um so größer wird die demselben mitgetheilte Geschwindigkeit sein, und es oscillirt innerhalb weiterer Gränzen hin und her, es bekommt eine größere Oscillationsamplitude und dabei wächst die Intensität des Schalles. Die Intensität desselben nimmt mit der Entfernung ab, und zwar in dem Maaße als das Quadrat der letzteren wächst. Es befolgt also der Schall dasselbe Gesetz, dem auch die Schwere gehorcht (§. 20). Mit der Oscillationsamplitude ist jedoch keine Beschleunigung der Mittheilung der Bewegung an andere Theilchen verbunden und ein stärkerer Schall erreicht darum das ferne Ohr nicht früher als ein schwächerer. Ebensowenig findet durch Verstärkung des Stoßes eine Verkürzung der Zeit statt, die das Theilchen zu einer Schwingung nöthig hat und darum wird der Ton nicht höher. Eine Saite gibt, wenn sie stärker angestrichen wird, weder einen schnelleren noch einen höheren, wohl aber einen stärkeren Ton. Alle Töne bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit, denn wären die einen Töne, etwa die hohen schneller als die andern, so würde eine Musik von ferne sich als ein vollkommenes Durcheinander anhören, man vernimmt aber in der Entfernung wie in der Nähe die tiefen Töne zugleich mit den gleichzeitig hervorgerufenen hohen. Wenn nun die hohen Töne sich von den tiefen dadurch unterscheiden, daß bei ihnen eine Schwingung schneller ausgeführt wird, so folgt daraus, daß ihre Wellenlänge kleiner ist als die der tiefen. Da nämlich eine Wellenlänge die Distanz zweier in gleicher Phase befindlicher Theilchen oder die Strecke ist, bis zu welcher sich die Bewegung fortpflanzt während das erste Theilchen seinen Weg einmal ganz zurücklegt, so ist die Strecke, welche der Ton nach einiger Zeit durchlaufen hat, gleich dem Producte aus der Anzahl der Schwingungen des ersten Theilchens in die Länge der Welle oder gleich vs, wenn v die Schwingungszahl, s die Wellenlänge bezeichnet. Für einen andern Ton, der in derselben Zeit von der nämlichen Stelle ausging, ist dieses Product $v's'$ und da beide Töne gleich schnell gehen, ist $vs = v's'$, also $v : v' = \frac{1}{s} : \frac{1}{s}$ d. h. es verhält sich bei 2 Tönen die Wellenlänge umgekehrt wie die Schwingungsdauer eines Molecüles.

Während das Licht so schnell geht, daß es auf der Erde vorkommende Distanzen in einer kaum meßbaren kurzen Zeit durchläuft, läßt sich beim Schalle sehr leicht beobachten, daß seine Geschwindigkeit nicht sehr bedeutend ist. Man sieht den aus dem Rohre eines Geschosses fahrenden Blitz von ferne früher als man den gleichzeitig entstandenen Knall hört. Versuche, welche darüber angestellt wurden, wie viel der Knall einer losgeschossenen Kanone in einer bekannten Entfernung später ankam als der Blitz, führten zu dem Resultate, daß der Schall in einer Secunde 174.9 Toisen d. i. 1049.4 par. Fuß durchläuft, wofür im Nachstehenden die runde Zahl 1050 angenommen werden soll.

Für ein und dasselbe Gas ist die Schallgeschwindigkeit bei verschiedenem Drucke dieselbe, so lange sich die Temperatur nicht ändert; steigt letztere, so wird die Geschwindigkeit etwas größer; bei Gasen, welche unter gleichem Drucke verschiedene Dichtigkeit haben, ist sie der Quadratwurzel der Dichtigkeit umgekehrt proportional. In Eisen bewegt sich der Schall $16\frac{2}{3}$, im Wasser $4\frac{1}{4}$ mal so schnell als in der Luft.

§. 115. Der Schall wird als Welle nach den oben §. 113 angeführten Gesetzen reflectirt, wenn er an der Gränze des Körpers angekommen ist, in dem er sich bisher bewegt hatte; doch kann auch ein Theil der Schwingungen auf den Nachbarkörper übergehen.

Durch Reflexion des Schalles entsteht das Echo. Geht der Schall nach einander durch verschiedene Medien hindurch, so wird er bedeutend geschwächt, weil an jeder Gränze Reflexionen stattfinden, also nur ein Theil des ursprünglichen Schalles vorwärts geht. Hierauf beruht die Schwächung des Schalles durch Thüren u. s. w.

Da das Gesetz, nach welchem die Reflexion der Wellen erfolgt, bekannt ist, so kann man es durch zweckmäßige Construction des reflectirenden Körpers dahin bringen, daß sich eine größere Anzahl von Schallwellen an einem bestimmten Puncte sammelt oder daß sie in einer vorgeschriebenen Richtung weiter geht. Hierauf beruht das Hör- und das Sprachrohr.

§. 116. Wenn mehrere Töne von verschiedener Wellenlänge gleichzeitig an das Ohr dringen, so ist der dadurch auf letzteres hervorgebrachte Eindruck ein angenehmer, wenn der Bruch, den man erhält, wenn man die Zahl wie oft der eine Ton in einer gegebenen Zeit schwingt, durch die des andern dividirt, durch kleine Ziffern ausgedrückt wird, ein unangenehmer dagegen, wenn die hiezu nöthigen Ziffern bedeutend sind. Erstere Töne heißen consonirend, letztere dissonirend. Schwingt z. B. ein Ton dreimal, während ein anderer zweimal schwingt, so ist der Bruch $\frac{3}{2}$ und die Töne sind consonirend, dissonirend wären sie aber, wenn der eine zu 30 Schwingungen eben so lange

braucht als der andere zu 19. Solche Zahlen, deren gegenseitiges Verhältniß durch kleine Brüche angegeben werden kann, sind: 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48, denn das Verhältniß der nachfolgenden zur ersten wird durch die Brüche $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, $\frac{2}{1}$ dargestellt und auch wenn die nämlichen Zahlen unter einander verglichen werden, erhalten wir Brüche mit kleinen Ziffern. Die Musiker haben, ohne von diesen theoretischen Betrachtungen etwas zu wissen, diese Verhältnisse durch das Gehör aufgefunden und die einzelnen Töne mit Namen bezeichnet. Diese Namen nebst den zugehörigen Verhältnißzahlen sind:

C	D	E	F	G	A	H	c
24	27	30	32	36	40	45	48

Ist C der erste oder Grundton, so ist D der zweite, die Secunde, E der dritte, die Terz, F der vierte, die Quart u. s. w., c der achte, die Octav. Von c aus geht die Reihe in derselben Ordnung weiter, es heißt also derjenige Ton, der in der nämlichen Zeit 54 Schwingungen macht d, und ist die Octav von D. Das Intervall zwischen dem einen Tone und dem nächstfolgenden ist nicht immer gleich, denn wenn man die Differenz in den Schwingungen durch die Schwingungszahl des vorangehenden Tones dividirt, erhält man als Differenzen

C	D	E	F	G	A	H	c
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{15}$	
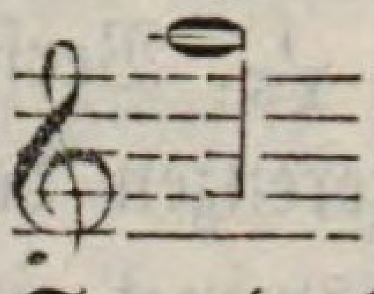
Die Intervalle von C zu D, D zu E, F zu G, G zu A und A zu H heißen ganze Töne, große, wenn die Differenz $\frac{1}{8}$, kleine, wenn sie $\frac{1}{9}$ ist; die Intervalle von E zu F und von H zu c sind halbe Töne. Geht man nicht blos von C, sondern auch von den andern Tönen als Ausgangspuncten in der gleichen Ordnung von Intervallen weiter, so erhält man die verschiedenen Dur-Tonleitern. Bei der Cdur-Tonleiter schreitet man zuerst zweimal um einen ganzen, dann um einen halben Ton vor, worauf dreimal ein ganzer und wieder ein halber Ton folgen. Versucht man dasselbe Aufsteigen von D aus, so kommt man bei dem zweiten Intervall zwischen F und G hinein, denn da von E nach F nur ein halber Ton ist, muß man von F noch einen halben weiter gehen. Dieser Zwischenton heißt Fis. Von Fis aus kommt man zuerst einen halben Ton, dann dreimal den ganzen aufsteigend zu G, A, H, cis, welches wieder zwischen c und d ist und endlich zur Octav von D nach d. Behufs der Erzielung der übrigen Durtonleitern ist man zur Einführung von Gis und Ais oder B zwischen G und A dann zwischen A und H geführt worden. Bringt man auf irgend einem

Instrumente nach einander die Töne der Cdurscala hervor, so steigt man wie erwähnt von dem tieferen zum höheren übergehend der Reihe nach um $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{15}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{15}$. Versucht man dasselbe in einer andern Tonart, so folgen die Differenzen der einzelnen Töne in einer andern Ordnung, da der Ausgangspunct ein anderer ist und die Differenzen ungleich sind. Hierauf beruht die Erscheinung, daß ein und dasselbe Musikstück in verschiedenen Tonarten vorgetragen eine dem Musiker leicht erkennbare Verschiedenheit des Characters bekommt. Eine nach lauter halben Tönen fortschreitende Tonleiter heißt chromatisch.

Wenn von zwei Tönen der eine 5mal schwingt, bis der andere dasselbe 4mal thut, so nennt man die Differenz eine große Terz zum Unterschiede von der kleinen, um welche Töne verschieden sind, deren Schwingungszahlen sich wie 6 zu 5 verhalten. Die kleine Terz von C ist Dis oder Es, welches 28.8mal schwingt, die große ist E mit 30 Schwingungen; die kleine Terz von E ist G mit 36, die große Terz ist Gis mit 37.5 Schwingungen. Grundton, Terz, Quint und Octav zusammen geben einen Accord, und zwar den Dur-Accord, wenn die Terz die große, den Moll-Accord, wenn die Terz die kleine ist.

Nimmt man von einem Tone etwa von C die große Terz, so erhält man einen andern, dessen Schwingungszahl sich zu der von C wie 5 zu 4 verhält, die also in unserem Falle 30 beträgt. Die große Terz dieses Tones macht 37.5 Schwingungen, sie verhält sich also zu C wie 5 . 5 zu 4 . 4, oder wie 25 zu 16. Die große Terz dieses zweiten Tones macht 46.625 Schwingungen, verhält sich also zu C wie 5 . 5 . 5 zu 4 . 4 . 4 d. i. wie 125 zu 64. Nimmt man von C die Octav c, so verhalten sich dessen Schwingungen zu denen von C wie 2 zu 1 oder wie 128 zu 64 und c oscillirt daher 48mal in derselben Zeit, in der die dritte große Terz von C 46.625mal schwingt. In der angewandten Musik wird zwischen beiden Tönen kein Unterschied gemacht, und man stimmt daher die Octav etwas zu tief, die Terzen etwas zu hoch und gleicht so, indem man beiderseits einen Fehler macht, die Differenz aus. Dasselbe geschieht auch bei den Zwischentönen. Auf einem Instrumente, das wie das Clavier seine festen von dem Spieler unabhängigen Töne gibt, sind daher alle Töne etwas falsch und es kann als ein Glück betrachtet werden, daß unser Ohr nicht empfindlich genug ist, die kleinen Fehler herauszufühlen, denn sonst würde kaum ein musikalischer Genuß möglich sein. Beim Gesange und auf Instrumenten, wo man wie bei der Geige, den Ton mehr in der Hand hat, nehmen fein gebildete Musiker auf diese Verschiedenheit der Töne sehr gut Rücksicht.

§. 117. Im vorhergehenden Paragraphe sind für die einzelnen Töne Ziffern angegeben worden, welche die Zahlen der Schwingungen derselben bestimmen, die in einem kleinen für alle gleichen Zeitraume

gemacht werden. In der Praxis fragt es sich, wie viele Schwingungen ein gewisser Ton in einer Secunde macht. Vor 50 Jahren machte der Ton $\overline{\overline{a}}$, der in der Musik durch  angegeben wird, an der italiänischen Oper in Paris in der Secunde 848 Schwingungen. Durch Rücksichten auf die Saiteninstrumente, namentlich auf die Geige, die sich in den höheren Tonlagen besser ausnehmen, ist die Stimmung zum Nachtheile der Stimmen der Sänger immer mehr jedoch an den verschiedenen Opern verschieden hinaufgetrieben worden; in neuerer Zeit wurde jedoch in Paris als zunächst für Frankreich normgebend festgesetzt, daß das genannte a in der Secunde fortan 870 Schwingungen zu machen habe und es scheint diese Normalstimmung auch auf den deutschen Bühnen eingeführt werden zu sollen. Da die Octav immer nochmal so viel Schwingungen macht als der Grundton, so machen die Töne $\overline{\overline{\overline{a}}}$, $\overline{\overline{a}}$, $\overline{a}$, a, A, $\underline{A}$, $\underline{\underline{A}}$ 1740, 870, 435, 217.5, 108.75, 54.375 und 27.1875 Oscillationen. Der tiefste Ton in der Musik ist $\underline{\underline{C}}$. Er hat nach der Pariser Normalstimmung eine Wellenlänge von 64.38 Fuß und macht 16.31 Schwingungen in der Secunde, da der Schall in der Secunde 1050 Fuß zurücklegt und die Länge einer Welle sich durch Division dieser Strecke durch die Zahl der Oscillationen ergibt. Der Ton $\overline{\overline{a}}$ hat eine Länge von $\frac{1050}{870} = 1.21$ Fuß.

Die Abhängigkeit der Höhe eines Tones von der Zahl der Schwingungen läßt sich am einfachsten zeigen, wenn man eine Uhrfeder an die Speichen eines mit einer bekannten Geschwindigkeit rotirenden Rades andrückt. So oft eine Speiche an die Uhrfeder anschlägt, vernimmt man den Stoß, und wenn das Rad sich so langsam umdreht, daß in einer Secunde nur wenig Speichen die Feder passiren, so nimmt das Ohr jeden Schlag besonders wahr. Steigt die Zahl der Schläge in der Secunde bis ungefähr 16, so ist das Ohr nicht mehr im Stande, die einzelnen Schläge gesondert wahrzunehmen, sondern es vernimmt einen Gesammteindruck derselben als Ton. Dieser Ton wird bei zunehmender Geschwindigkeit des Rades höher und höher, aber allmählig nimmt er, wenn man die Erhöhung sehr weit treibt, an Intensität ab, er wandelt sich in eine Art von Zischen um, und endlich für die verschiedenen Ohren verschieden etwa zwischen 24000 und 48000 Stößen verschwindet auch dieses. Das Ohr empfindet nun nichts mehr.

§. 118. Auch die Gesetze der schwingenden Saiten, von denen §. 105 gesprochen wurde, dienen dazu, den Zusammenhang der Töne zu bestätigen oder umgekehrt aus letzterem die Richtigkeit der Gesetze zu constatiren. Spannt man 2 gleich dicke Drahtsaiten zwischen 2 in bestimmter Entfernung befindlichen Stegen durch gleiche Gewichte, so geben sie beim Anschlagen denselben Ton. Wird das die eine Saite spannende Gewicht vervierfacht, so gibt sie die Octav. Wird bei gleich bleibender Spannung die Saite durch einen Steg in 2 gleiche Theile getheilt, so gibt wieder jeder die Octav von dem Tone der ganzen Saite. Gibt man der Saite die Länge $\frac{2}{3}$, so hört man die Quint u. s. w. Saiten von verschiedenem Durchmesser geben einen um so tieferen Ton, je größer ihr Durchmesser ist. Drückt man auf Saiteninstrumenten die Saite an einer beliebigen Stelle bis auf das Griffbrett herab, so wird dadurch der schwingende Theil der Saite verkürzt und ihr Ton in demselben Maaße erhöht.

Das Tönen der Stimmgabel wird dadurch hervorgebracht, daß die Enden derselben wie Pendel hin und herschwingen, dabei an die Luft anstoßen und derselben so die Wellenbewegung mittheilen. Es befolgt jedoch die Oscillationsgeschwindigkeit elastischer Stäbe ein anderes Gesetz als die der Saiten; sie nimmt ab, wie das Quadrat der Länge wächst und ist der Dicke umgekehrt proportional, wenn man als Dicke die Dimension nimmt, welche in die Schwingungsebene fällt. Die Breite ist ohne Einfluß auf die Zahl der Schwingungen.

§. 119. Wenn eine Schallwelle sich in einem Kanale bewegt und am Ende desselben an einer festen Wand anstößt, so wird sie von dieser reflectirt und der reflectirte Theil veranlaßt mit dem nach vorwärts dringenden Theile Interferenzen, die im Nachfolgenden näher betrachtet werden sollen.

Die Geschwindigkeiten, welche die einzelnen Molecüle einer Welle in einer gegebenen Zeit besitzen, läßt sich nach §. 110 Fig. 118, 119 und 120 durch eine Wellenlinie ausdrücken, in welcher in Anwendung auf die hier stattfindenden Longitudinal-Schwingungen die Stellung der einzelnen Curventheile Richtung der Bewegung und Geschwindigkeit der entsprechenden Molecüle bedeutet, und in diesem Sinne mögen auch die nachstehenden Figuren genommen werden. Pflanzt sich (Fig. 127) eine Luftwelle in der Richtung AB fort, so kann die Curve I als Repräsentantinn der Bewegungen dienen. Die Theilchen, die sich im Querschnitte a befinden, sind im Stadium der größten Geschwindigkeit

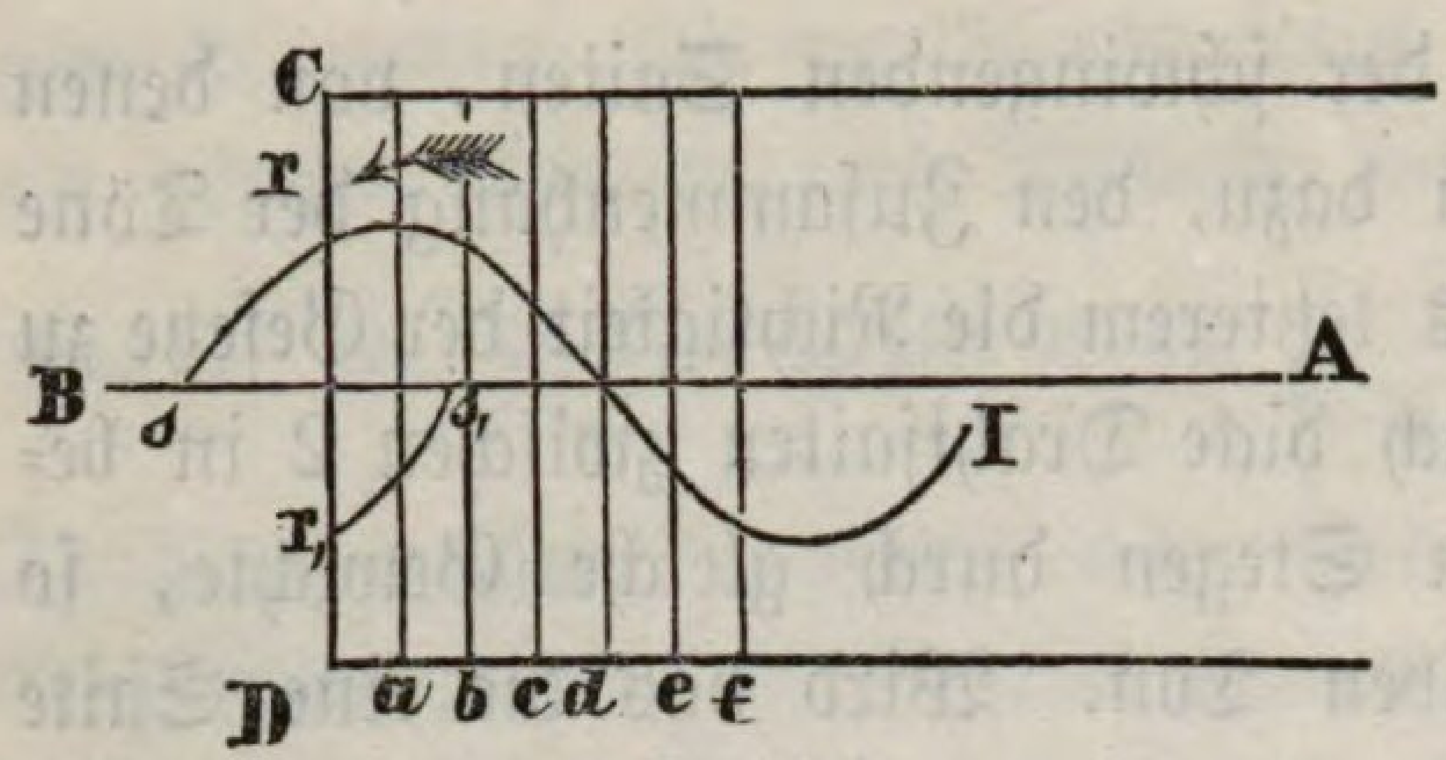


Fig. 127.

und gehen in der Richtung des Pfeiles; weniger rasch gehen die Theilchen des Querschnittes b, noch langsamer die von c, die Theilchen d sind momentan in Ruhe, während in e und f eine immer raschere Bewegung in der der vorigen entgegengesetzten Richtung stattfindet. Was unterhalb der Linie AB ist, bedeutet also hier eine Bewegung von B nach A, was oberhalb ist, gibt eine Bewegung in der Richtung AB an. Nehmen wir nun an, die Welle stoße auf die feste Wand CD, so wird sie von derselben reflectirt. Dadurch wird nicht nur die Richtung der Wellenbewegung, sondern auch die der Bewegung der einzelnen Molecüle die entgegengesetzte von der, welche man ohne die Anwesenheit der Wand gefunden hätte. Wäre die Welle bei Abwesenheit der Wand in einer bestimmten Zeit nach s gekommen, so ist sie dafür, weil sie nicht durch

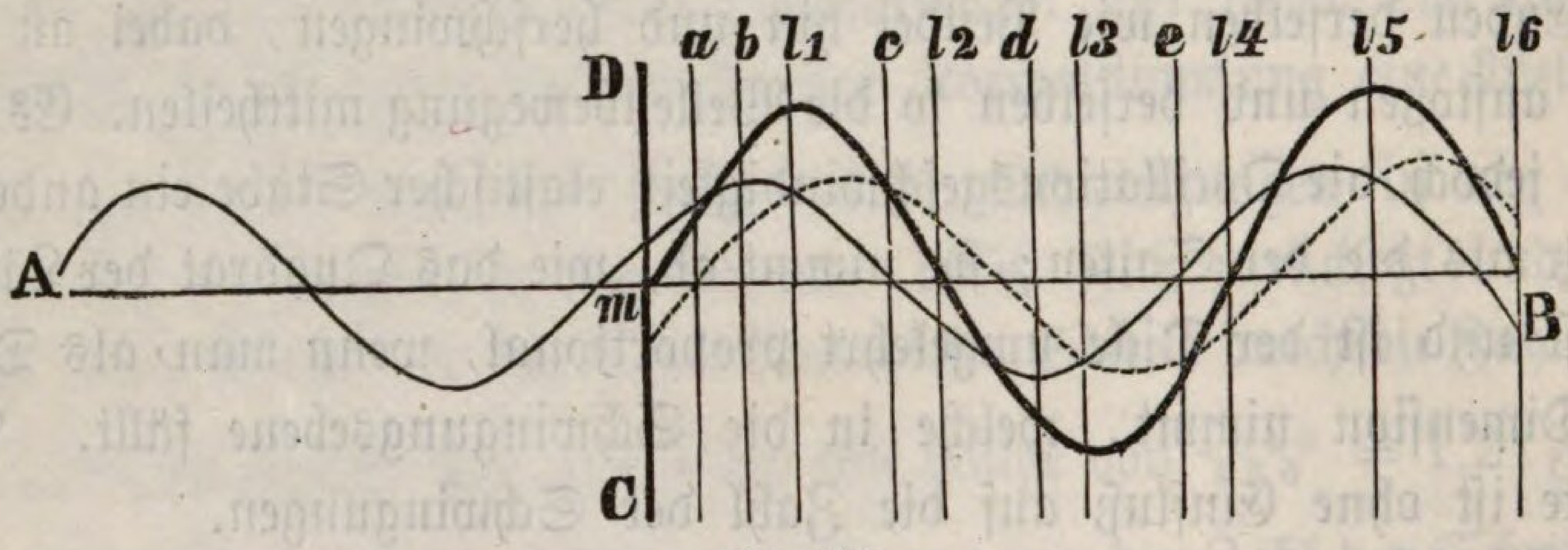


Fig. 128.

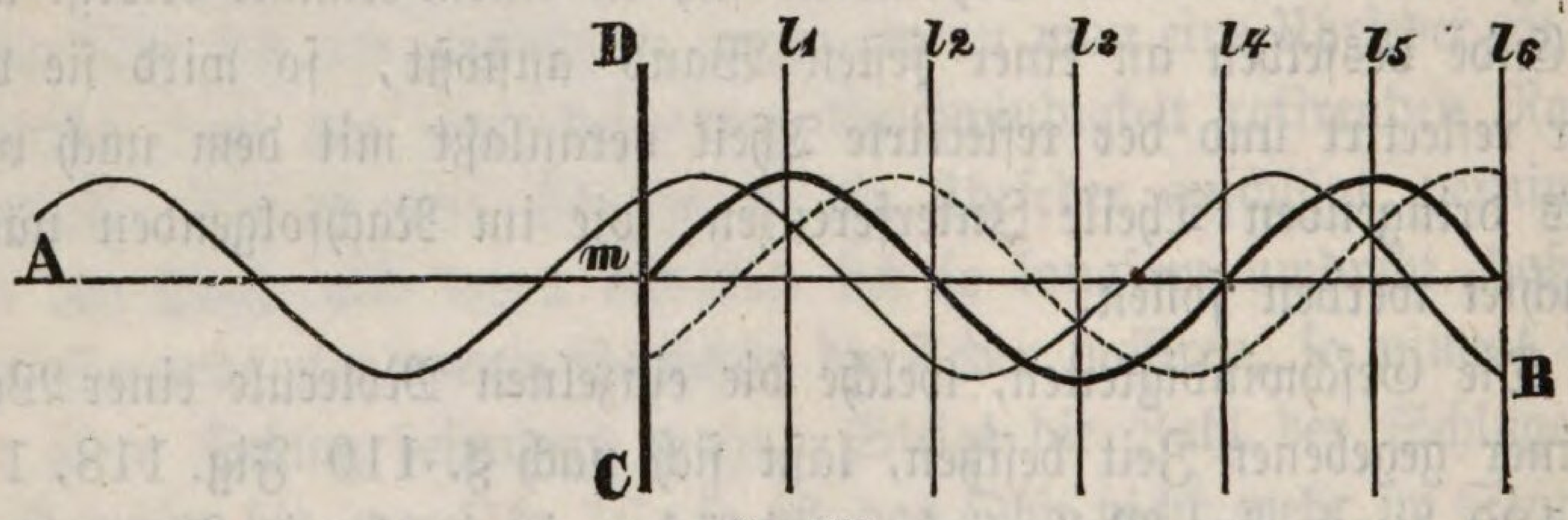


Fig. 129.

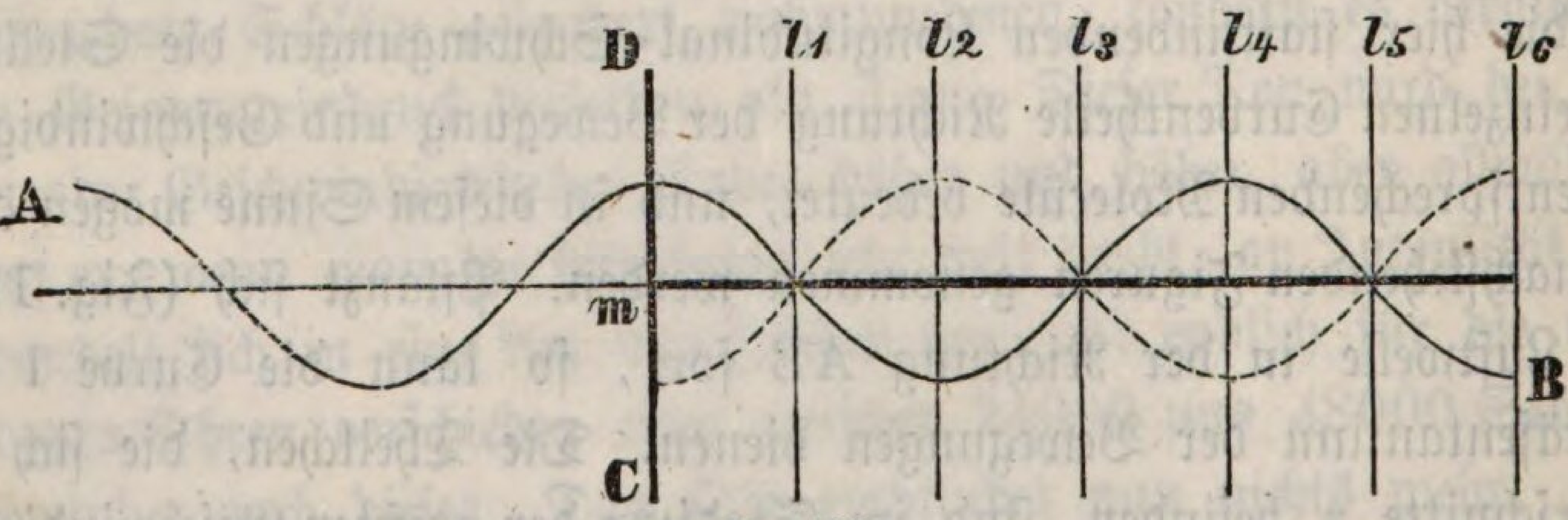


Fig. 130.

die Wand hindurch kann, wieder nach s_1 zurückgegangen und gleichzeitig wird die Richtung, in welcher die Molecüle gegangen wären, umgekehrt. Es repräsentirt daher die Curve r_1s_1 das reflectirte Stück rs der Welle, und nun ist die Reihenfolge der Erscheinungen gerade so, als hätte man 2 verschiedene Wellen, die sich interferiren.

Nehmen wir an, die Molecüle der Welle befinden sich in einer gegebenen Zeit in den durch die Curve AB (Fig. 128) angegebenen Phasen. Ist die Wand vorhanden, an welcher die Welle, wenn sie dort ankommt, statt gegen A hinzugehen reflectirt wird, so wird nach dem, was soeben angegeben wurde, der reflectirte Theil sich durch die punctirte Curve darstellen lassen. Man erhält die punctirte Curve, wenn man sich die Fortsetzung der ausgezogenen zwischen m und A von links nach rechts umgeschlagen und dann von unten nach oben oder umgekehrt umgedreht denkt. Die beiden Wellen interferiren nun miteinander und dadurch kommt eine neue Welle zum Vorschein, welche durch die stärkere Curve repräsentirt wird. Einen Augenblick später

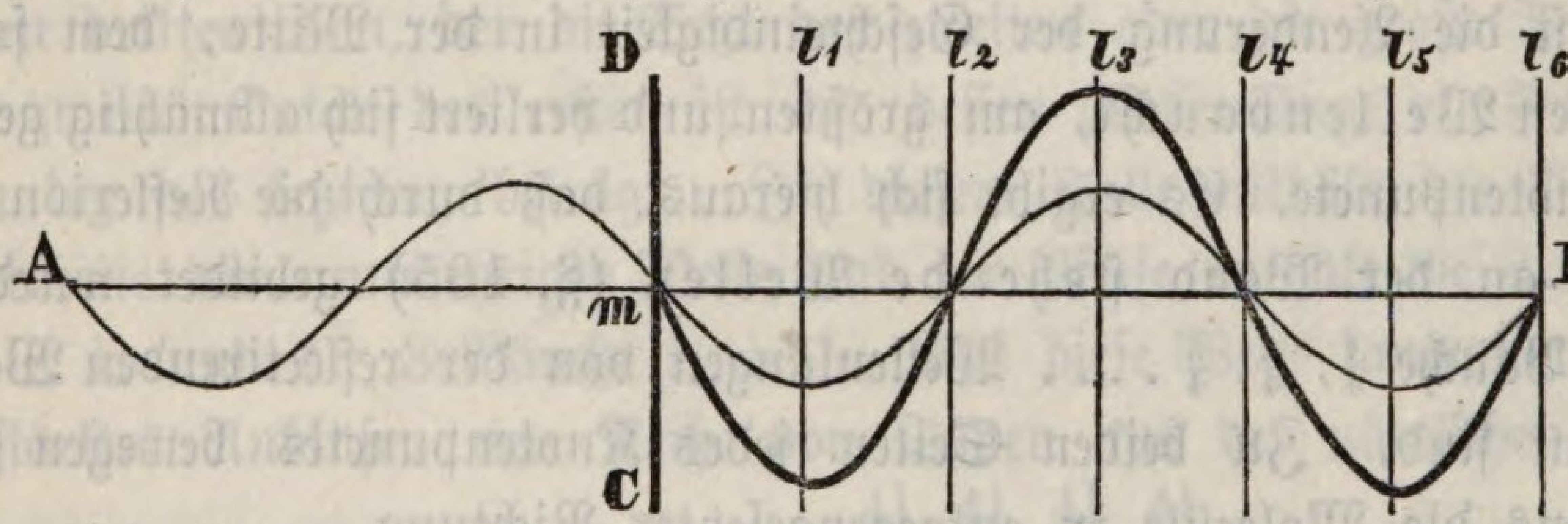


Fig. 131.

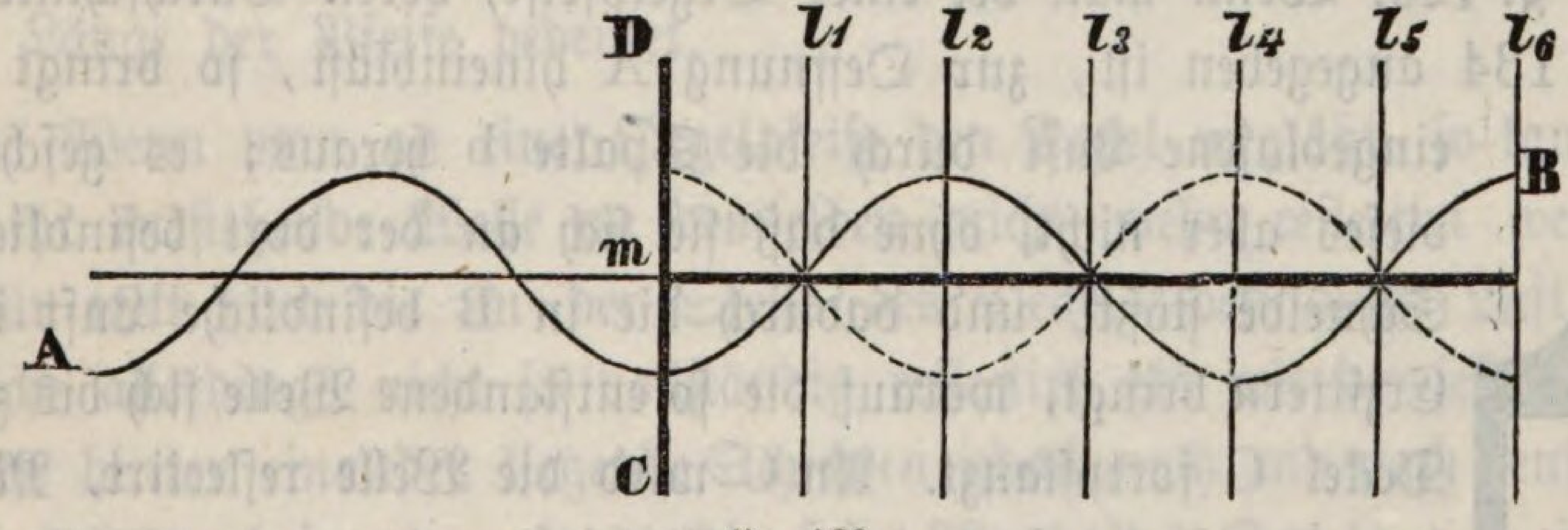


Fig. 132.

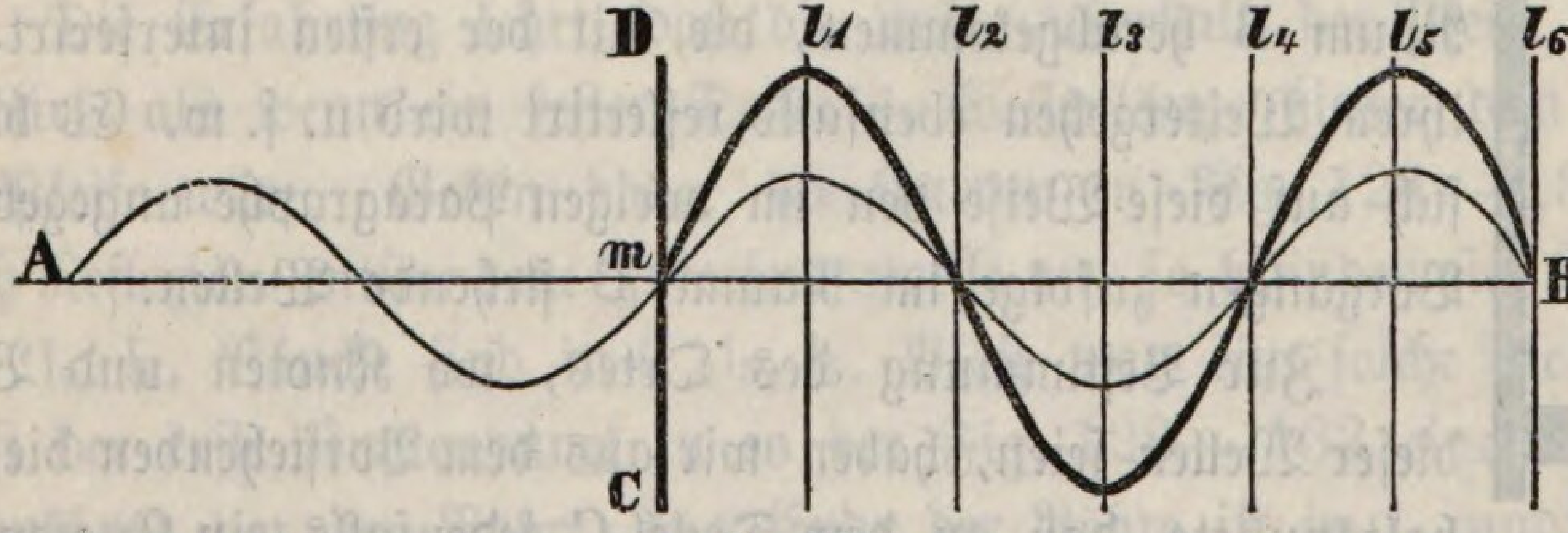


Fig. 133.

kommt bei dem Fortschreiten der Welle AB ihr Theil a an die Wand und durch Reflexion und Interferenz erhält man den in Fig. 129 angegebenen Zustand. Rücken der Reihe nach die Theile b, c, d und e der Fig. 128 bis an die Wand CD vor, so erhält man als die diesen entsprechenden Zustände die Figuren 130, 131, 132 und 133, wobei jedoch zu bemerken ist, daß in den Figuren 131 und 133 die Curven der ursprünglichen und der reflectirten Welle sich decken, weshalb nur erstere in der Zeichnung angegeben ist. Die stärkere Curve ist in allen diesen Figuren das Resultat der Interferenz der beiden andern und entspricht als Resultirende der Gesammtwirkung derselben. Betrachtet man sie näher, so ergibt sich, daß an der Wand stets Ruhe herrscht und daß dasselbe auch für diejenigen Puncte gilt, die von der Wand $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{3}{2}$ .... Wellenlängen entfernt liegen. Zwischen diesen Knotenpuncten befinden sich diejenigen Stellen, an welchen Bewegung stattfindet, und zwar geht die Bewegung der sämmtlichen zwischen je 2 Knotenpuncten befindlichen Molecüle stets im gleichen Sinne vor sich; doch ist die Aenderung der Geschwindigkeit in der Mitte, dem sogenannten Wellenbauche, am größten und verliert sich allmählig gegen die Knotenpuncte. Es ergibt sich hieraus, daß durch die Reflexion der Welle an der Wand stehende Wellen (§. 105) gebildet wurden, deren Bäuche $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ .... Wellenlängen von der reflectirenden Wand entfernt sind. Zu beiden Seiten jedes Knotenpunctes bewegen sich übrigens die Molecüle in entgegengesetzter Richtung.

§. 120. Wenn man bei einer Orgelpfeife, deren Durchschnitt in Fig. 134 angegeben ist, zur Oeffnung A hineinbläst, so dringt die eingeblasene Luft durch die Spalte b heraus; es geschieht dieses aber nicht, ohne daß sie sich an der dort befindlichen Schneide stößt, und dadurch die in B befindliche Luft in's Erzittern bringt, worauf die so entstandene Welle sich bis zum Deckel C fortpflanzt. An C wird die Welle reflectirt. Mittlerweile ist bei fortgesetztem Einblasen eine neue Welle den Raum B herabgekommen, die mit der ersten interferirt, bei ihrem Weitergehen ebenfalls reflectirt wird u. s. w. Es bilden sich auf diese Weise den im vorigen Paragraphe angegebenen Vorgängen zufolge im Raume B stehende Wellen.



Fig. 134.

Zur Bestimmung des Ortes, wo Knoten und Bauch dieser Wellen seien, haben wir aus dem Vorstehenden die Anhaltspuncte, daß an dem Deckel C jedenfalls ein Knoten, an

dem Querschnitte bei b ein Bauch sein muß. Die Stelle C Fig. 134 entspricht daher der Stelle m in Fig. 128—133, dagegen können l_1, l_3, l_5 . . . Fig. 128—133 den bei b Fig. 134 befindlichen Bauch repräsentiren. Wird die Pfeife schwach angeblasen, so gibt sie den möglichst tiefen Ton, und durch Vergleichung desselben mit Tönen, die auf andere Weise hervorgebracht wurden, ergibt sich, daß dessen Wellenlänge viermal so groß ist als die Länge der Pfeife (von b bis C). Es entspricht sonach die Länge ml_1 (Fig. 128—133) der Distanz bC (Fig. 134). Bläst man stärker in die Pfeife, so erhält man einen andern Ton, welcher die Quint von der Octav des vorigen ist, dessen Wellenlänge also ein Drittheil von der vorigen beträgt, und wenn die Orgelpfeife, wie wir eben gesehen, ein Viertheil der Wellenlänge des früheren hat, so besitzt sie offenbar drei Viertheile von der Länge des neuen. In diesem Falle entspricht die Distanz ml_3 (Fig. 128—133) der Länge der Pfeife und letztere enthält daher 2 Knoten (m und l_2) und 2 Bäuche (l_1 und l_3). Bei noch stärkerem Anblasen gibt die Pfeife einen dritten Ton, der die Sext des zweiten oder die große Terz von der zweiten Octav des ersten ist und dessen Wellenlänge ein Fünftheil von der des letzteren beträgt. In diesem Falle enthält die Welle 5 Viertheile der nunmehrigen Welle und die Pfeife enthält die 3 Knoten m, l_2, l_4 und die 3 Bäuche l_1, l_3, l_5. Auf diese Weise kann man durch verstärktes Anblasen eine Reihe von Tönen aus der nämlichen Pfeife hervorbringen, deren Wellenlängen $\frac{4l}{1}, \frac{4l}{3}, \frac{4l}{5}, \frac{4l}{7} \ldots$ sind, wenn l die Länge der Pfeife bedeutet.

Wenn man an einer Orgelpfeife den Deckel wegläßt, so kann die in ihr entstehende Welle an demselben nicht mehr reflectirt werden; dafür tritt aber die an der Stelle des Deckels befindliche Luft ein, welche allerdings nicht so vollständig reflectirt als wie der feste Deckel, deren hinter einander liegende Schichten jedoch nach und nach denselben Effect hervorbringen, als es die feste Wand des Deckels auf einmal thut. Die Erfahrung lehrt, daß die Luft außerhalb der Pfeife ebenso reflectirt, als wenn ein fester Deckel $\frac{1}{4}$ Wellenlänge hinter dem Ende der Pfeife wäre. Geben daher die Curven in Fig. 128—133 die durch Reflexion entstandene Interferenzwelle an, so befinden sich Knoten in l_2, l_4, l_6, Bäuche sind in l_1, l_3, l_5. Bläst man eine solche Pfeife an, so ist der erste Knotenpunct in m der Fig. 128—133 eine Viertelwellenlänge vor der Röhre, das Ende der Röhre ist in l_1 und da b

(Fig. 128) wieder ein Bauch sein muß, so kann diesem zunächst l_3 (Fig. 128—133) entsprechen, es muß also in der offenen Pfeife ein Knotenpunct sein. Der tiefste Ton, den eine offene Pfeife gibt, hat eine Wellenlänge von der doppelten Länge der Röhre, ist also um eine Octav höher als der tiefste Ton der gedeckten Pfeife. Auch die offene Pfeife gibt mehrere Töne; bläst man sie nämlich stärker an, so erhält man die Octav des vorigen Tones und seine Länge ist $\frac{2}{2}$ mal in der Pfeife enthalten. Jetzt entspricht die Länge der Pfeife der Strecke $l_1 l_5$ (Fig. 128—133) und wir haben 3 Bäuche (l_1, l_3, l_5) und 2 Knoten (l_2, l_4). Bei noch stärkerem Anblasen erhält man den Ton, der $\frac{3}{2}$ mal in der Länge der Pfeife enthalten ist; er ist die Quint des vorigen und es lassen sich allgemein die Wellenlängen der Töne ausdrücken durch $\frac{2l}{1}, \frac{2l}{2}, \frac{2l}{3}, \frac{2l}{4} \ldots$

Der Theorie der Orgelpfeifen gehorchen auch alle übrigen, sie mögen gedeckt sein oder nicht. Bei der Flöte, die eine ungedeckte Pfeife ist, stößt sich die Luft an der Schneide des Mundloches, welche also die Stelle von b (Fig. 134) vertritt. Durch Auflassen und Schließen der Löcher wird derselbe Effect erzielt, als hätte man die Pfeife verkürzt oder verlängert. Durch verändertes Anblasen erhält man durch die gleichen Griffe die Octaven der untern Töne. Dasselbe gilt von dem Flageolet.

§. 121. Die Saiten biegen sich, da sie einen im Verhältniß zu ihrer Länge sehr geringen Querschnitt haben oder aus weichem Materiale hergestellt sind, zu leicht, als daß sie zur Hervorbringung von Tönen des spannenden Gewichtes entbehren könnten. Wird die Länge geringer oder das Material fester, so wird der Körper, wenn er aus der Gleichgewichtslage gebracht wird, vermöge seiner Elasticität dieselbe wieder herzustellen suchen und dabei in Schwingungen gerathen, die wenn sie rasch genug auf einander folgen einen Ton geben. Elastische Stäbe und Lamellen bedürfen einer Spannung nicht; sie gehorchen dem im §. 118 angegebenen Gesetze.

Auf dieser Grundlage beruhen die Töne der Saiteninstrumente, der Stimmgabel, der Glasharmonika. Bei der Mundharmonika wird ein dünnes Blättchen von Metall durch den Druck der Luft so in Bewegung gesetzt, daß ein kleines Loch, welches zum Abzuge der Luft dient, bald geöffnet, bald zugedeckt wird. Dadurch wird auch die Luft in Schwingungen gebracht und es entsteht ein Ton. Man kann durch Anfügen eines conischen Ansatzrohres, des sogenannten Schallbechers, diesen Ton verstärken und das Instrument

wird zur Zungenpfeife, die auch einen Bestandtheil der Orgel ausmacht. Nimmt man jedoch statt des Schallbechers eine längere Röhre, so wird die Höhe des Tones so modificirt, daß die Oscillation der Zunge wesentlich von den in der Röhre sich bewegenden Wellen abhängt. Wäre z. B. die Wellenlänge des Tones der Pfeife ohne Ansatzrohr gleich 1 und gibt man dem letzteren die Länge $\frac{1}{2}$, so erhält man die nächsttiefere Octav des ersten Tones. Wird das Ansatzrohr nur wenig verlängert, so kommt plötzlich der erste Ton wieder zum Vorschein. Bei der Klarinette hat man ein vibrirendes Blättchen am Mundstücke, die Länge des Ansatzrohres wird durch Oeffnen und Schließen der Löcher willkürlich vergrößert und verringert und es verhält sich daher dieses Instrument zu der Zungenpfeife ähnlich wie die Flöte zur gewöhnlichen ungedeckten Orgelpfeife. Bei der Trompete vertreten die Bewegungen der Lippen die Stelle der Vibrationen des Blättchens.

§. 122. Da der Schall auf Wellenbewegung beruht, so müssen auch zwei oder mehrere Töne die Interferenzerscheinungen bieten, und es folgt daraus, daß Schall und Schall sich verstärken aber auch sich schwächen kann. Es wird sich dieses nach den in §. 110 angegebenen Normen reguliren. Werden 2 Stimmgabeln, deren eine um einige etwa 6 Schwingungen in der Secunde mehr macht als die andere, gleichzeitig angeschlagen, so verbreiten sich von jeder abwechselnd Berge und Thäler nach allen Richtungen hin, die in dem Ohre den Eindruck von Tönen hervorbringen. Kommen von der einen Stimmgabel 6 Schwingungen mehr als von der andern, so muß auch in dem Ohre sechsmal das Thal des einen Systems mit dem Berge des andern zusammentreffen und der Ton geschwächt werden, während er sich verstärkt, wenn Berg und Berg und Thal und Thal zusammenkommen. Dadurch entsteht eine Art von Wimmern des Tones, das um so rascher geht, je größer der Unterschied der Stimmgabeln ist. Durch Berücksichtigung dieses Umstandes lassen sich 2 Stimmgabeln einander vollkommen gleich machen, indem man so lange mit der Feile nachhilft, bis alles Wimmern verschwunden ist. Beträgt der Gangunterschied der beiden Stimmgabeln mehr als 16 Stöße in der Secunde, so ist das Ohr nicht mehr im Stande, die einzelnen Verstärkungen und Schwächungen wahrzunehmen und man beobachtet dann den Totaleindruck derselben als einen neuen Ton, den sogenannten Combinationston. Auch bei Orgelpfeifen erhält man die Interferenz und die Combinationstöne sehr leicht. Spielt man z. B. gleichzeitig einen Ton und dessen Quint an, so kommen auf je 2 Schwingungen des ersteren eine Verstärkung und eine Schwächung. Letztere geben mithin halb so viel Stöße als Schwing-

ungen des Grundtones und man hört also die nächsttiefere Octav desselben. Man benützt diesen Umstand bisweilen, um Töne hervorzubringen, für die man gar keine einzelne Pfeife in der Orgel hat.

§. 123. Außer durch die Intensität oder Stärke und durch die Quantität oder Höhe unterscheiden sich die Töne, wie bereits §. 114 bemerkt wurde, auch noch durch die Qualität oder Farbe. Die Töne gleicher Höhe, welche durch Saiteninstrumente hervorgebracht werden, unterscheiden sich von denen der Blasinstrumente. Die Klangfarbe entsteht dadurch, daß neben dem einen stärksten Tone, nach dem die Höhe des Ganzen beurtheilt wird, noch eine größere oder geringere Anzahl anderer sogenannter Obertöne gehört werden, die an Intensität verschieden sind, aber dem Haupttone nachstehen. Die Mischung der verschiedenen erwähnten Töne ist bei den einzelnen Instrumenten wechselnd und in Folge dessen auch der Eindruck, der dadurch auf das Ohr hervorgebracht wird.

Als Obertöne eines Grundtones erhält man immer solche, deren Schwingungszahl ein ganzes Vielfaches von der Schwingungszahl des letzteren ist. Bezeichnet man die Schwingungszahl des Grundtones mit 1, so haben die Obertöne der Reihe nach die Zahlen 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 u. s. w. und die Obertöne von c sind also:

$\overline{c}$, $\overline{g}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{e}}$, $\overline{\overline{g}}$, $\overline{\overline{b}}$, $\overline{\overline{\overline{c}}}$, $\overline{\overline{\overline{d}}}$, $\overline{\overline{\overline{e}}}$ u. s. w.

Wenn irgend ein Instrument einen Ton gibt, der mit irgend einem Obertone gleichzeitig auftritt, so werden diese beiden nach dem im vorigen Paragraphe Erwähnten sich miteinander zu einem Combinationstone verbinden und diesem wird nach den Regeln der Interferenz eine bestimmte Form der Schallwelle entsprechen. Nehmen wir an, es combiniren sich mit dem Grundtone nach einander die Obertöne, deren Schwingungszahlen sich zu der des Grundtones verhalten wie 2, 3, 4 zu 1, und nimmt man diese Obertöne etwas schwächer als den Grundton, so werden die Wellen der Combinationstöne der Reihe nach vorgestellt in den Figuren 135, 136 und 137, in denen die eine nicht ausgezogene Curve den Grundton, die andere den Oberton und die ausgezogene Curve den dazu gehörenden Combinationston angibt. Vergleicht man die Wellen der einzelnen Combinationstöne und bedenkt man, daß durch sie die Bewegungen angegeben werden, welche die schwingenden Theilchen machen, so muß klar werden, daß der Eindruck, den diese Oscillationen auf das Ohr machen, bei jedem

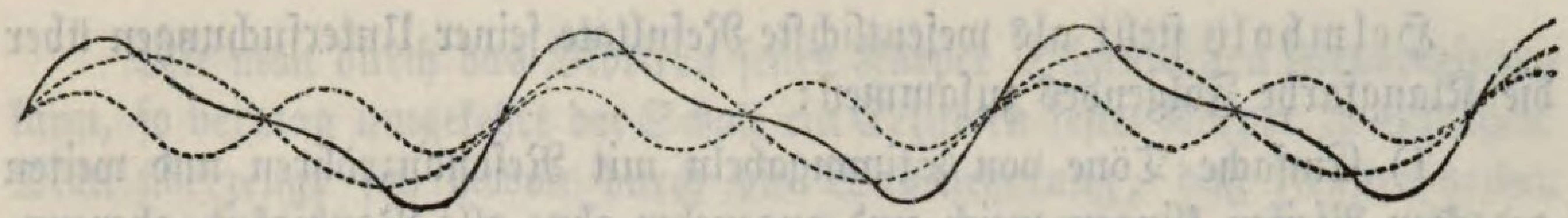


Fig. 135.

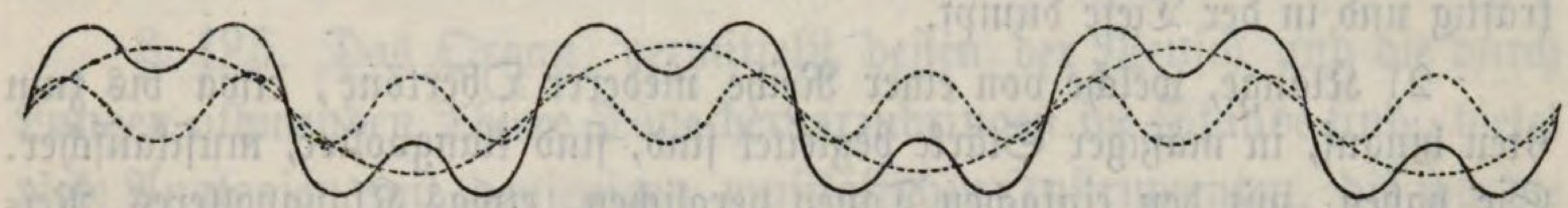


Fig. 136.

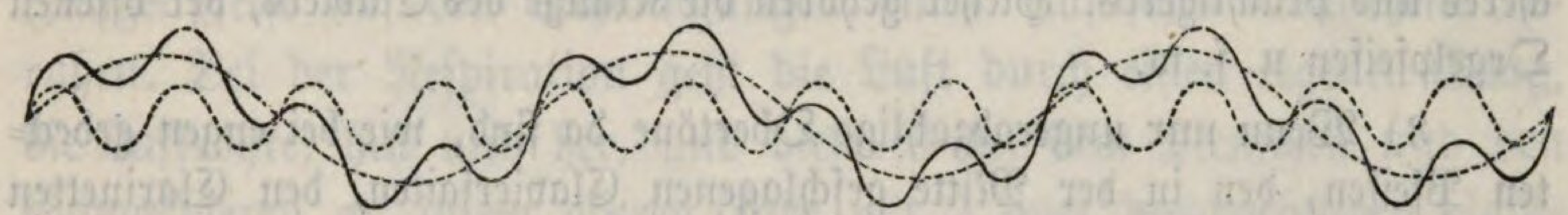


Fig. 137.

der Töne ein anderer sein muß, obwohl dieselben unter einander Aehnlichkeit haben. Diese Töne verhalten sich zu dem Grundtone etwa so wie die Variationen eines Musikstückes zu der Melodie: sie sind unter einander verschieden, lassen aber doch alle die Melodie wieder herausklingen.

Nach §. 120 kann man mit Hülfe von gedeckten Orgelpfeifen der Reihe nach Töne hervorbringen, deren Wellenlängen sich zu einander verhalten wie 1 : 3 : 5 u. s. w., während die ungedeckten Pfeifen Töne von den Wellenlängen 2, 4, 6 u. s. w. geben. Bläst man eine mäßig weite Orgelpfeife schwach an, so gibt sie einen Ton, der den Character desjenigen hat, dessen Wellenlänge viermal so lang ist als die Pfeife, aber nebenbei hört man noch als schwächere Obertöne diejenigen, welche bei stärkerem Anblasen bestimmend für die Tonhöhe auftreten, und darum wird die Schwingungscurve des Tones der Resultirenden von Fig. 136 analog. Aus demselben Grunde entsprechen die Curven Fig. 135 und 137 dem Character des Tones einer offenen Pfeife. Es ergibt sich hieraus, daß gedeckte und ungedeckte Pfeifen bei gleicher Höhe des Tones einen abweichenden Effect machen.

Vergleicht man die Obertöne unter einander, so zeigt sich, daß das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen bis etwa zum sechsten durch kleine Ziffern ausdrückbar ist, daß sie also unter einander stimmen (§. 116), während dieses bei den höheren Obertönen nicht mehr so gut der Fall ist.

Lange, dünne Saiten geben bei dem Anschlagen leicht viele hohe Obertöne und es wird dadurch ein eigenthümliches, unharmonisches Geräusch hervorgebracht, das mit dem Worte Klimpern bezeichnet wird.

Helmholtz stellt als wesentlichste Resultate seiner Untersuchungen über die Klangfarbe Folgendes zusammen:

1) Einfache Töne von Stimmgabeln mit Resonanzröhren und weiten gedeckten Pfeifen klingen weich und angenehm ohne alle Rauhigkeit, aber unkräftig und in der Tiefe dumpf.

2) Klänge, welche von einer Reihe niederer Obertöne, etwa bis zum 6ten hinauf, in mäßiger Stärke begleitet sind, sind klangvoller, musikalischer. Sie haben, mit den einfachen Tönen verglichen, etwas Klangvolleres, Reicheres und Prächtigeres. Hieher gehören die Klänge des Claviers, der offenen Orgelpfeifen u. s. w.

3) Wenn nur ungeradzahlige Obertöne da sind, wie bei engen gedeckten Pfeifen, den in der Mitte geschlagenen Claviersaiten, den Clarinetten u. s. w., so bekommt der Klang einen hohlen und bei größerer Zahl von Obertönen einen näselnden Character.

4) Wenn die höheren Obertöne jenseits des 6ten und 7ten sehr deutlich sind, so wird der Klang scharf und rauh. Bei geringerer Stärke beeinträchtigen die hohen Obertöne die musikalische Brauchbarkeit nicht, sie sind im Gegentheile günstig für den Character und die Ausdrucksfähigkeit der Musik. Von der Art sind die Klänge der Streichinstrumente, die meisten Zungenpfeifen, die Physharmonika u. s. w. Solche Klänge, bei welchen die hohen Obertöne ganz besonders stark sind, wie bei den Blechinstrumenten, erhalten dadurch etwas ungemein Durchdringendes.

§. 124. Das Medium, durch dessen Schwingungen die Töne dem Ohre zugeführt werden, ist im Allgemeinen die Luft, welche mit unserm Gehörorgane in unmittelbarer Berührung steht. Soll man hören, so muß offenbar die Luft selbst schwingen, wenn jedoch die Oscillationen in einem festen Körper hervorgebracht werden, so gehen sie wohl leicht von diesem in einen andern festen Körper, aber weniger leicht in einen flüssigen und noch schwieriger in einen gasförmigen über. Aus diesem Grunde gibt eine Stimmgabel, die frei in der Luft gehalten wird, wenn sie auch noch so stark schwingt, nur einen sehr schwachen Ton. Um letzteren zu verstärken, müssen zuerst die Schwingungen auf einen andern festen Körper übergetragen werden, der im Verhältniß zu seiner Masse eine möglichst große Oberfläche hat, um der Luft recht viel Gelegenheit zu geben, in Schwingung zu gerathen. Hierauf beruhen die Resonanzböden der verschiedenen musikalischen Instrumente, die überall da angebracht werden müssen, wo die Schwingungen von einem festen Körper ausgehen, die man aber weglassen kann, wenn wie es bei den Blasinstrumenten der Fall ist, die Schwingungen unmittelbar in der Luft hervorgebracht werden.

Wie man durch das Vibriren fester Körper Schallwellen hervorbringen kann, so vermag umgekehrt der Schall ein Erzittern fester Körper zu erzeugen. Man überzeugt sich hievon durch die Wahrnehmung, daß Fensterscheiben u. s. w. klingen, wenn sie von einem entsprechenden Tone getroffen werden.

§. 125. Das Organ, vermittelst dessen der Mensch und die durch Lungen athmenden Thiere Töne hervorzubringen im Stande sind, bietet viele Analogien mit denjenigen musikalischen Instrumenten, die wie die Zungenpfeife auf den Schwingungen eines elastischen Blättchens beruhen. Bei der Respiration geht die Luft durch einen eigenen Gang, die Luftröhre, hin und her, und diese ist bei dem Menschen und den Säugethieren an ihrem oberen Ende mit 2 quer durchgehenden elastischen Häutchen, den Stimmbändern versehen, welche durch die aus der Lunge hervorkommende Luft in Schwingungen gerathen, die sie dann wieder der Luft mittheilen. Der Apparat läßt sich künstlich nachbilden, wenn man wie Fig. 138 zeigt, 2 dünne Cautschouklamellen AA so an das Ende einer Glasröhre bindet, daß sie dieselbe quer abschließen und nur eine ganz schmale Ritze aa zwischen sich lassen. Bläst man durch das andere Ende des Rohres hinein, so hört man einen Ton, der um so höher ist, je mehr die Lamellen gespannt werden.

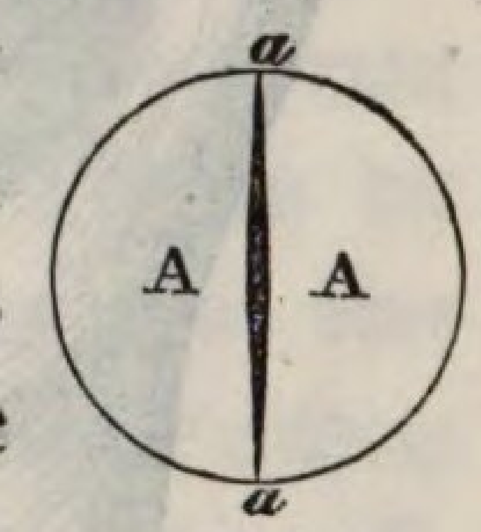


Fig. 138.

Fig. 139 gibt eine Abbildung des menschlichen Kehlkopfes. Die Knorpel, welche die Stimmbänder umgeben, dienen zum Schutze derselben und verhindern, daß sie zusammengedrückt werden. Sie heißen: Ringknorpel (a), Schildknorpel (bb), Gießbeckenknorpel (cc). Die Luftröhre endet nach oben in den Mund und liegt vor der Speiseröhre. Soll nun eine Speise in letztere eingeführt werden, so legt sich der Kehldeckel (d) über die Stimmritze (f) und verhindert das Eindringen der Speisen in die Luftröhre.

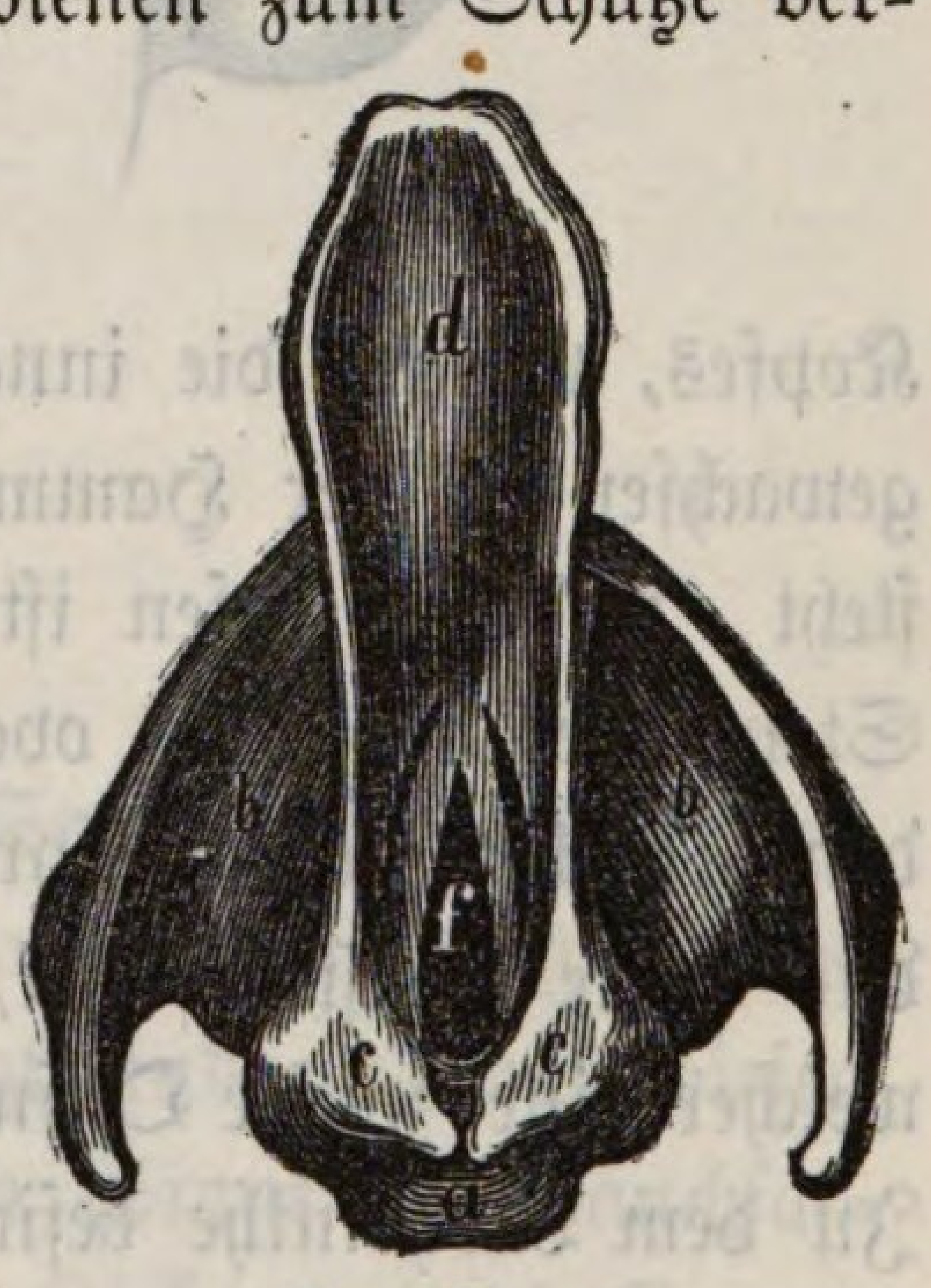


Fig. 139.

Der Kehlkopf ist die Ursache der Entstehung des Tones, er macht ihn außerdem zu einem hohen oder tiefen. Die Buchstabenlaute werden durch ein bisweilen ziemlich complicirtes Spiel der den Mund bildenden Muskeln hervorgebracht, wobei auch die Nase und die Zähne mithelfen müssen.

§. 126. Bei dem Gehörorgane unterscheidet man äußere und innere Theile. Außerhalb des Kopfes befindet sich bei den Säuge-

thieren die tütenförmige Ohrmuschel, welche bestimmt ist, nach Art des Hörrohres die Schallwellen aufzufangen und den inneren Theilen zuzuleiten, der Zweck der sonderbaren Gestalt der menschlichen Ohrmuschel ist zur Zeit nicht bekannt. Von der Ohrmuschel führt ein durch das Trommelfell abgeschlossener Gang a (Fig. 140) in das Innere des

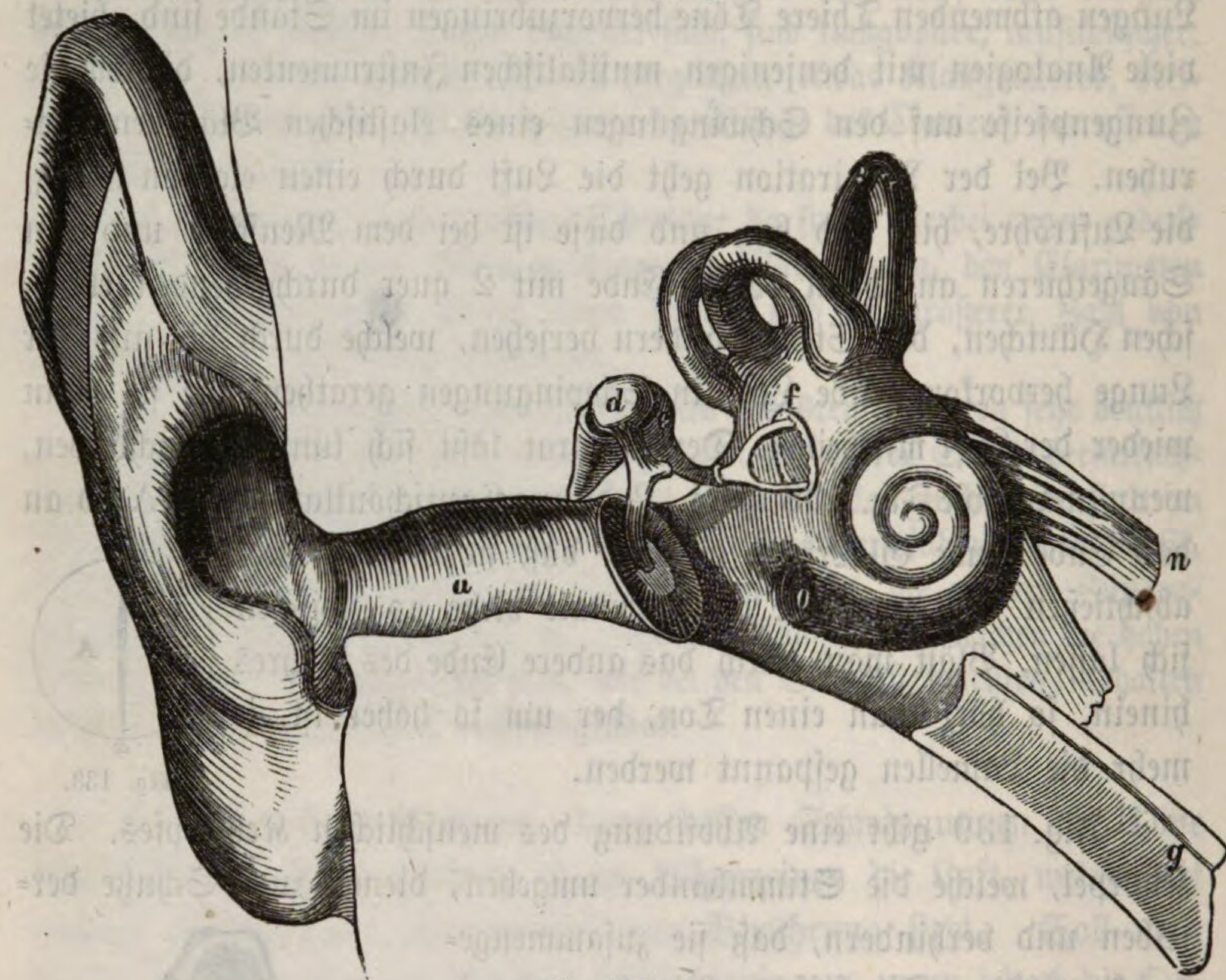


Fig. 140.

Kopfes, worauf die innern Theile folgen. An dem Trommelfell angewachsen ist der Hammer d, der mit dem Ambos e in Verbindung steht, und an diesen ist wieder der Steigbügel f angewachsen. Der Steigbügel deckt das ovale Fenster, eine Oeffnung in dem nun folgenden Knochen dem Labyrinthe zu, welches aus einem Vorhofe, zu dem das ovale Fenster führt, aus 3 Bogen und der Schnecke besteht, bei welcher eine zweite Oeffnung, das runde Fenster o wahrzunehmen ist. In dem Labyrinthe befindet sich eine wässerige Feuchtigkeit, in der der Gehörnerv ausgebreitet ist. Alle diese Theile des inneren Ohres sind jedoch in der Natur nicht so frei daliegend, wie sie in der Abbildung zu sehen sind; sie sind insgesammt von Knochen umhüllt. Die Räume des innern Ohres sind mit Luft gefüllt, welche der von außen auf das Trommelfell drückenden atmosphärischen Luft das Gleichgewicht halten muß. Da bei dem Schwanken des äußeren Luftdruckes das Trommel=

fell bald nach einwärts bald nach auswärts gebogen würde, steht das innere Ohr durch einen Kanal, die Eustachische Röhre g, mit der Mundhöhle und durch diese mit der äußern Luft in Verbindung.

Der Vorgang bei dem Hören ist nun der, daß durch die Schallwellen das Trommelfell erschüttert wird, welches seine Bewegung dem Hammer, Ambos und Steigbügel mittheilt. Dabei öffnet und schließt letzterer abwechselnd das ovale Fenster, wodurch die im Labyrinthe befindliche Flüssigkeit zum Erzittern gebracht wird, was wieder eine Einwirkung auf den Gehörnerven n ausübt. Wie die auf den letzteren ausgeübten Einflüsse dem Gehirne mitgetheilt werden, wie sie dort zum Bewußtsein kommen, weiß man nicht, man weiß nur, daß der Gehörnerv das Ohr mit dem Gehirne verbindet. In dem Gehörnerv haben wir den wesentlichen Theil des Gehörorganes zu suchen, die übrigen Parthien haben nur die Bestimmung, ihm die Schwingungen möglichst leicht zu übermitteln. Aus diesem Grunde kann das Trommelfell zerrissen, die Reihe der Gehörknöchelchen unterbrochen sein, ohne daß man darum taub wird. Man hört jedesmal, wenn der Gehörnerv die Schwingungen wahrnimmt; diese Wahrnehmungen können ihm aber auch durch den übrigen Körper zukommen, da derselbe wie jeder andere feste Körper Schwingungen aufnimmt und fortpflanzt. Man hört z. B. noch ziemlich deutlich, wenn man den äußern Gehörgang mit den Fingern schließt.

Das Licht.

§. 127. Von vielen Körpern z. B. der Sonne, den Fixsternen, einer brennenden Kerze geht etwas aus, was durch Vermittlung unseres Gesichtssinnes zu unserer Wahrnehmung gelangt und uns von diesen Gegenständen unter Umgehung unserer übrigen Sinne die manchfaltigste Kunde bringt. Man nennt dieses Etwas Licht und die Gegenstände, welche dieses Licht aussenden, heißen leuchtende Körper oder Lichtquellen.

Das Licht verbreitet sich von dem leuchtenden Körper aus nach allen Richtungen fort; fällt es auf einen Körper, so kann es möglicher Weise durch denselben hindurchgehen und dieser heißt dann durch-

sichtig zum Unterschiede von dem undurchsichtigen Körper, der dem Lichte den Durchgang versagt. Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit bezeichnen strenge genommen ebenso wie die Wörter elastisch und unelastisch (§. 92) nicht so fast einen Gegensatz, als einen höheren oder niedrigeren Grad einer und derselben Eigenschaft, denn wir kennen keinen Körper, der selbst bei den größten Dimensionen das Licht vollständig passiren läßt, und ebensowenig ist wohl ein Gegenstand vorhanden, der auch in den dünnsten denkbaren Schichten vollständig undurchsichtig wäre. Der durchsichtigste Körper, den wir kennen, die atmosphärische Luft absorbirt einen großen Theil des auf sie fallenden Lichtes, während andererseits das sonst undurchsichtige Gold in dünne Blättchen ausgedehnt dem Lichte Durchgang gestattet. Wenn wir auch strenge genommen Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit nicht als zwei sich entgegengesetzte Eigenschaften betrachten können, so bleibt uns doch übrig, diejenigen Gegenstände, die bei etwas beträchtlicher Dicke noch viel Licht durchlassen, als durchsichtige, diejenigen, bei denen selbst wenn sie nur geringe Dicke haben, kein durchgelassenes Licht mehr wahrgenommen werden kann, als undurchsichtige anzunehmen. Als zwischen beiden Extremen liegend kann man die durchscheinenden Körper ansehen, wie Horn, mattes Glas, geöltes Papier, durch welche das Licht wohl hindurchkommt, dann aber die Formen des leuchtenden Körpers nicht mehr erkennen läßt.

Das Licht pflanzt sich in gerader Linie fort und eine von Licht erfüllte, von einem Puncte zum andern gehende Gerade, die also alle diejenigen Puncte trifft, welche ein von dem leuchtenden Körper ausgehender Theil des Lichtes nach und nach berührt, heißt ein Lichtstrahl.

Befindet sich (Fig. 141) in der Wand eines dunkeln Zimmers eine Oeffnung a, durch welche das Licht eines Gegenstandes etwa einer Kerzenflamme dringen kann, so beobachtet man auf der der Flamme entgegengesetzten Wand des Zimmers ein umgekehrtes Bild der Flamme, umgekehrt, weil die von einem tieferen Puncte ausgehenden Lichtstrahlen nach dem Durchgange durch die Oeffnung die gegenüberstehende Wand an einer höheren Stelle treffen, als die von einem höher gelegenen entspringenden. Aus dem gleichen Grunde tauschen sich

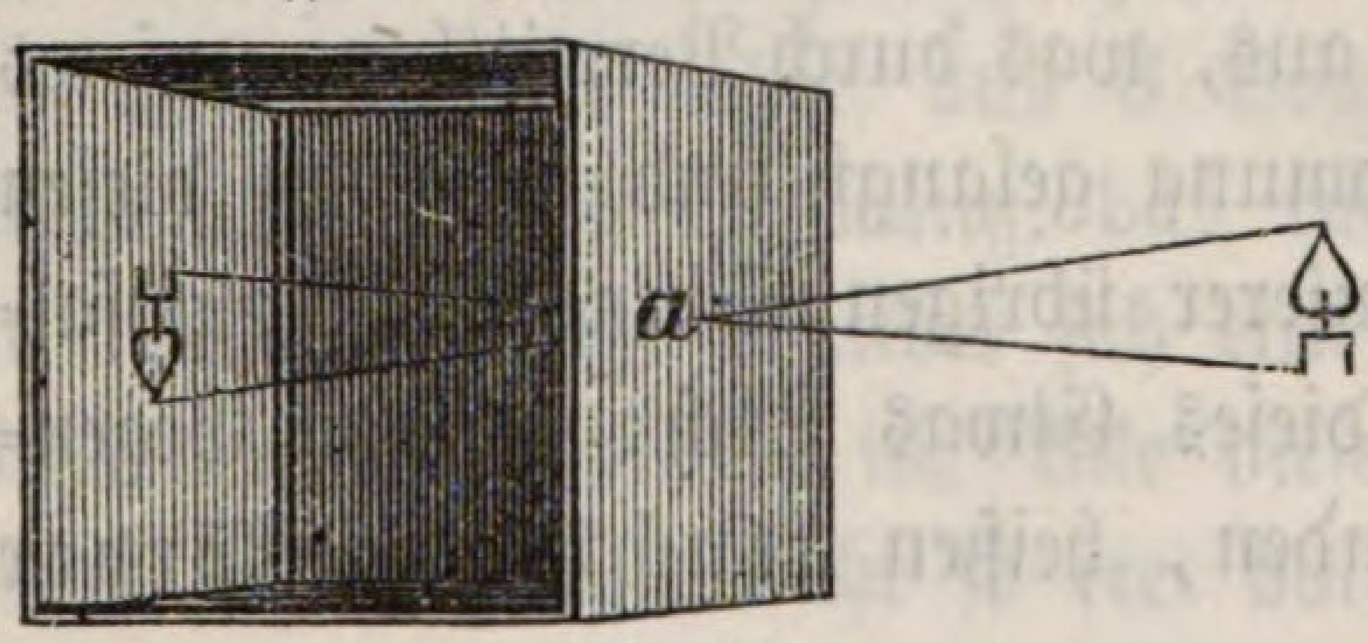


Fig. 141.

auch Links und Rechts aus. Befinden sich in der Wand 2 Oeffnungen, so entstehen auch 2 Bilder, die sich jedoch, wenn die Oeffnungen nahe genug bei einander sind, zum Theile decken können. Ist z. B. ab (Fig. 142) ein Licht spendender Gegenstand, sind A und B die beiden Wände eines Zimmers und hat A die zwei Oeffnungen c und d, so kommt auf B durch c das verkehrte Bild b_1a_1 und durch d kommt b_2a_2 zum Vorschein. Beide Bilder decken sich auf der Strecke b_2a_1 und da hier auf jeden Punct die Beleuchtung von verschiedenen Theilen von ab fällt, so wird das Bild so weit es das Licht durch beide Löcher

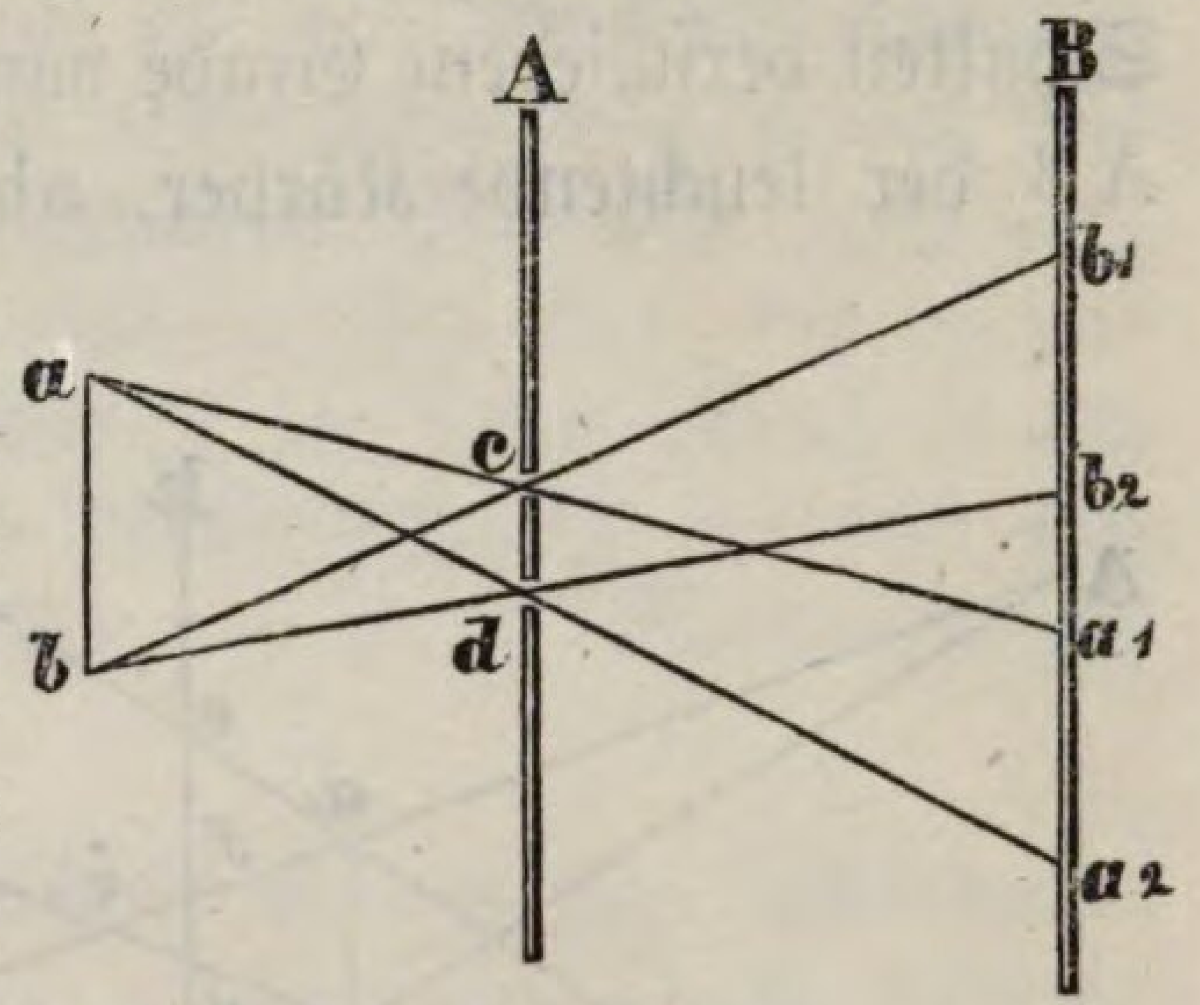


Fig. 142.

bekommt, weniger scharf. Eine große Oeffnung läßt sich als eine große Menge von kleinen betrachten, und daher wird man durch große Oeffnungen, wie durch Fenster und Thüren, die verkehrten Bilder nicht wahrnehmen. Sie sind zwar in Menge vorhanden, weil sie sich aber gegenseitig decken, ist man nicht im Stande die einzelnen zu unterscheiden.

Stellt man irgendwo hinter einander mehrere undurchsichtige Schirme, deren jeder ein kleines Loch hat, in beliebiger Entfernung so auf, daß die Schirme unter sich parallel, die Löcher in einer Geraden liegen, so kann man durch alle diese Oeffnungen hindurch eine Kerzenflamme sehen, die vor der ersten angebracht ist. Man sieht die Flamme nicht mehr, sobald nur eine einzige Oeffnung außerhalb der Geraden steht. Man hat verschiedene Mittel eine gerade Linie zu construiren und man kann sich daher leicht davon überzeugen, daß das Licht in geradem Wege vorwärts geht. Durch diese Eigenschaft des Lichtes wird aber anderseits die Zahl der Mittel, eine gerade Linie zu finden, um eines vermehrt, denn wenn man durch mehrere hinter einander liegende Oeffnungeu hindurchsieht, so hat man jedesmal eine gerade Linie. Hierauf beruht das Diopter.

§. 128. Wird ein Theil der von einem leuchtenden Körper ausgehenden Strahlen von einem undurchsichtigen Körper aufgefangen, so bleibt derjenige Raum hinter dem Gegenstande, in welchen bei dessen Abwesenheit die nun aufgefangenen Strahlen gekommen wären, dunkel, es bildet sich ein S c h a t t e n. Gehen die Strahlen von dem Puncte s (Fig. 143) aus, und ist ab der un=

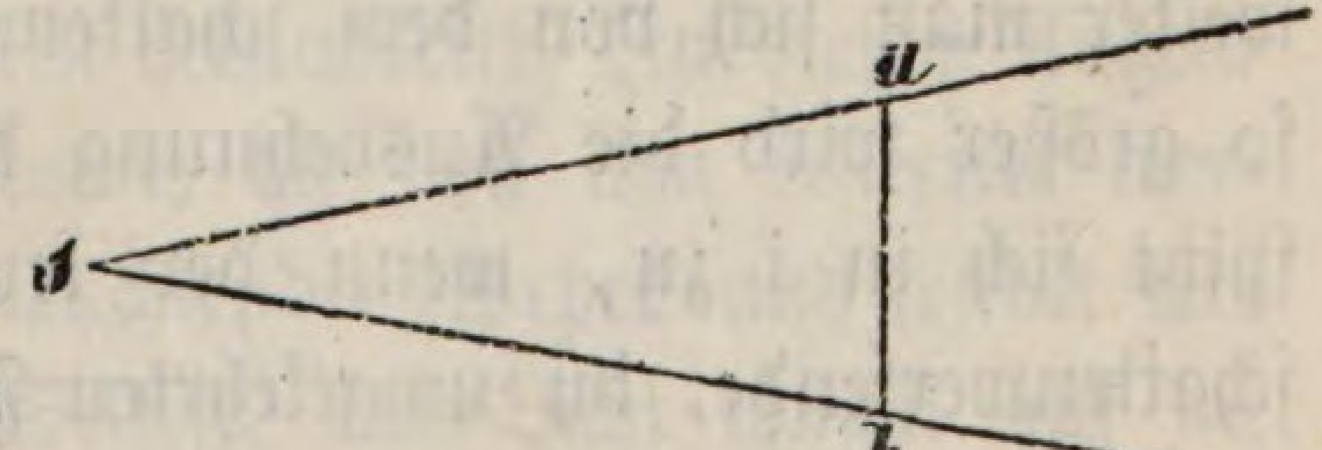


Fig. 143.

durchsichtige Körper, so werden alle zwischen den Richtungen sa und sb von s ausgehenden Lichtstrahlen von ab aufgefangen und darum ist in dem Raume hinter ab Schatten. Ist der leuchtende Gegenstand nicht ein Punct, sondern hat er eine gewisse Ausdehnung, so kann man im Schatten verschiedene Grade von Dunkelheit unterscheiden. Ist (Fig. 144) AB der leuchtende Körper, ab der Schatten werfende und untersucht man die Verhältnisse, wie sie sich auf einer Geraden kl darbieten, so kann man von k aus, ohne ab zu schneiden, nach jedem Puncte von AB eine Gerade ziehen; jeder der letzteren beleuchtet daher k, kann von ihm aus gesehen werden. Geht

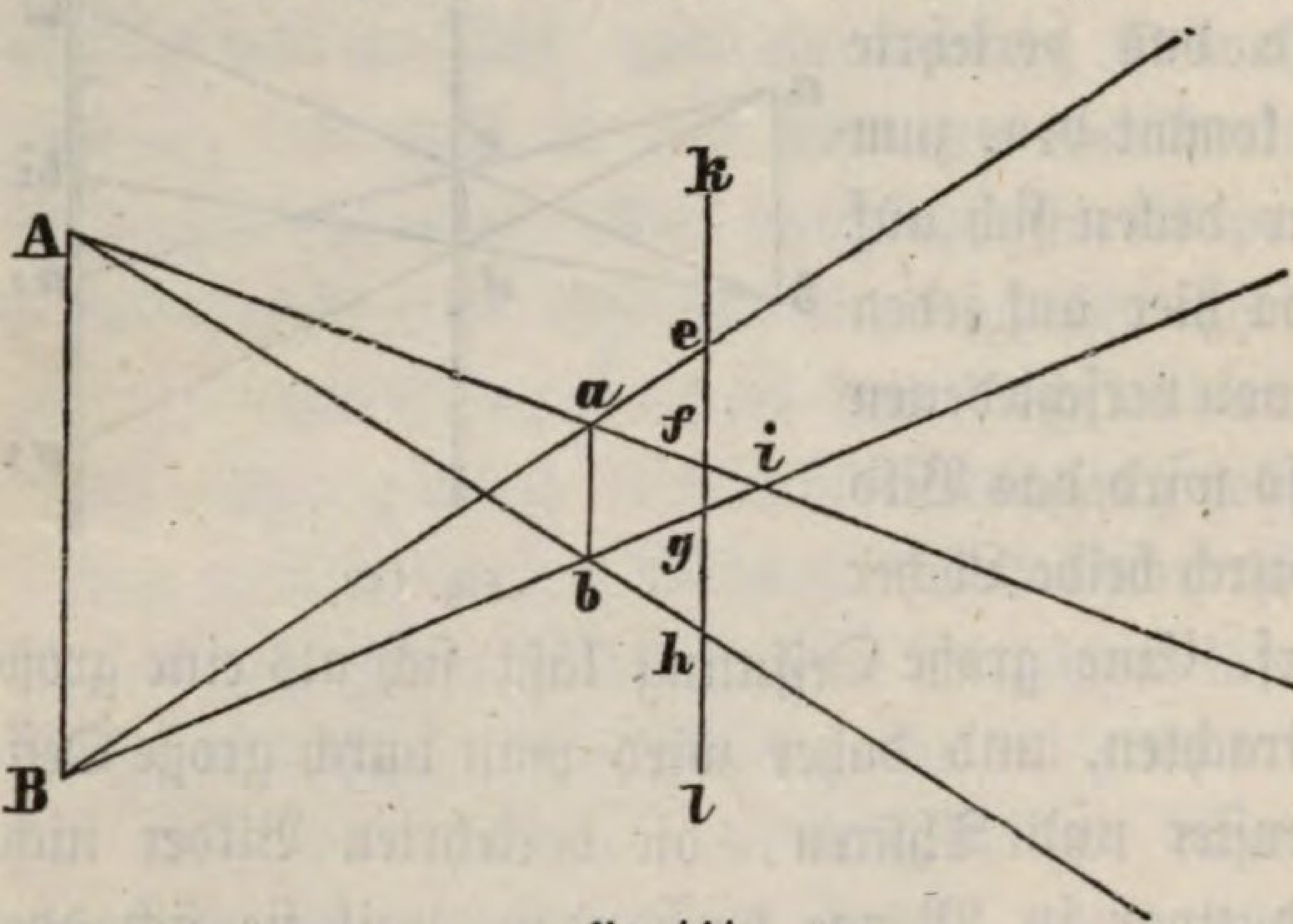


Fig. 144.

man nach e, so führt die von da nach B geführte Gerade durch den undurchsichtigen Gegenstand ab und e ist daher von B nicht mehr erleuchtet, man kann von ihm aus B nicht mehr sehen. Hier beginnt also der Schatten. Bei dem Vorrücken gegen f werden immer mehr von den zwischen B und A liegenden Puncten des leuchtenden Körpers unsichtbar und daher wird die Beleuchtung immer geringer oder der Schatten dunkler, je mehr man sich f nähert, von wo an bis g der ganze Körper AB dem Auge entrückt ist. Zwischen f und g ist also gar keine Beleuchtung. Von g nach h nimmt die Beleuchtung wieder allmälig zu, die Dunkelheit des Schattens ab, denn in g wird B wieder sichtbar, dann immer mehr der Puncte zwischen B und A und in h endlich kommt auch dieses letztere wieder zum Vorschein, es hört also der Schatten gänzlich auf. Wird für irgend einen Ort durch den undurchsichtigen Gegenstand der leuchtende Körper zum Theile verdeckt, so befindet er sich im Halbschatten (ef, gh); sieht man gar nichts von dem leuchtenden Körper (fg), so ist man im Kernschatten. Je weiter man sich von dem schattenwerfenden Gegenstande entfernt, um so größer wird die Ausdehnung des Halbschattens. Der Kernschatten spitzt sich in i zu, wenn der leuchtende Körper größer ist als der schattenwerfende, im umgekehrten Falle vergrößert er sich.

Die Entfernung von Sonne, Mond und Erde ist der Art, daß der Kernschatten des Mondes die Erde noch erreichen kann, dann aber nur noch einen kleinen Theil derselben bedeckt, der in Folge dessen eine totale Sonnenfinsterniß hat, während der Halbschatten eine partiale Sonnenfinsterniß hervorbringt. Wegen der elliptischen Bewegung der Erde um die Sonne und des Mondes um die Erde kann es bei großer Entfernung des letzteren von seinem Planeten vorkommen, daß der Kernschatten die Erde nicht mehr ganz erreicht, es ist als passire letztere den Raum hinter i (Fig. 144) und es entsteht die ringförmige Sonnenfinsterniß. Kommt der ganze Mond in den Kernschatten der Erde, so entsteht eine totale Mondsfinsterniß, überdeckt aber der Kernschatten nur einen Theil des Mondes, so ist die Mondsfinsterniß eine partiale.

§. 129. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist eine sehr bedeutende, denn es legt in jeder Secunde ungefähr 42000 (nach Enke 41935) Meilen zurück. Die erste Bestimmung dieser Geschwindigkeit verdanken wir den Beobachtungen der Verfinsterungen der Trabanten des Jupiter, welche Olaf Römer 1675 und 1676 in Paris machte. Wie unsere Erde von dem Monde, so wird Jupiter von 4 Trabanten umkreist, von denen der erste (nächste) in 42½ Stunden seinen Umlauf vollendet, aber wegen der Größe des Planeten niemals hinter demselben herumkommt, ohne verfinstert zu werden. Stellt nun S (Fig. 145) die Sonne, der um dieselbe gezogene Kreis die Bahn der Erde, der

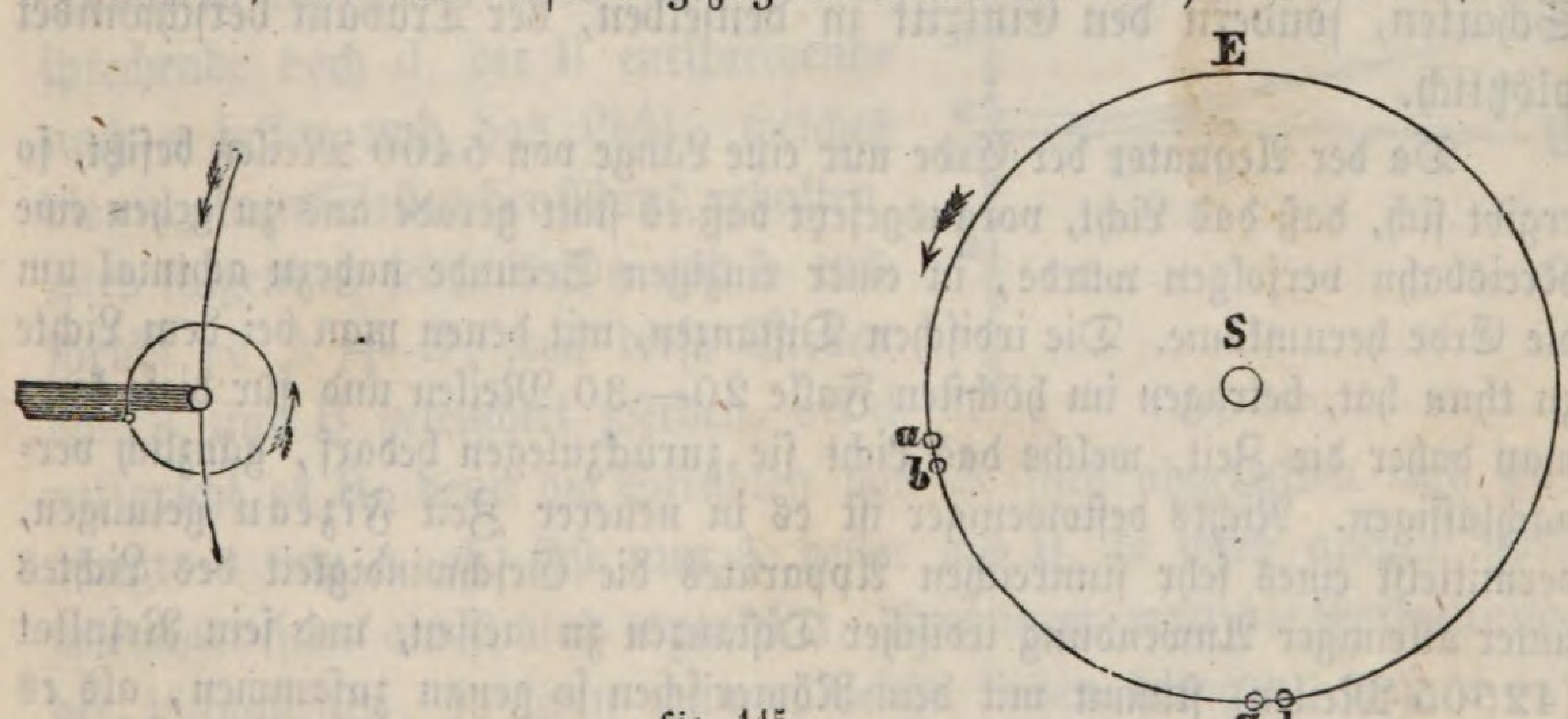


Fig. 145.

Kreisbogen ein Stück der Jupiterbahn vor, und bewegt sich der Trabant um den letzteren herum, so zeigt die Figur den Trabanten, wie er eben aus dem Schatten des Planeten heraustritt. In diesem Augenblicke treffen ihn die Strahlen der Sonne, die von ihm reflectirt werden, er verhält sich nun wie ein selbstleuchtender Körper und sendet das freilich nur geborgte Licht nach allen Seiten. Das Licht kommt auf die Erde, die in a sein möge, und der Beobachter notirt sich die Zeit des

Eintreffens der Strahlen. Nach einiger Zeit hat der Trabant seinen Weg abermals gemacht und kommt wiederum aus dem Schatten hervor. Die Erde ist indessen von a nach b gelangt, Jupiter hat seine Stelle seiner langsameren Bewegung wegen nur unmerklich verändert, die Entfernungen beider Planeten sind dieselben geblieben, und die Beobachtung zeigt, daß seit dem vorigen Austritte $42\frac{1}{2}$ Stunden verflossen seien. Befindet sich jedoch die Erde zur Zeit des ersten Austrittes des Trabanten in a_1 und ist sie bis zum zweiten nach b_1 gelangt, so hat sich mittlerweile die Erde von dem Jupiter entfernt, das von dem Trabanten ausgehende Licht hat daher noch die Strecke $a_1 b_1$ zurückzulegen, bis es auf der Erde beobachtet werden kann, und es ist daher zwischen der Beobachtung des ersten Austrittes und der des zweiten eine etwas größere Zeit vergangen als $42\frac{1}{2}$ Stunden. Da man nun die Bewegungen der beiden Planeten und ihren jeweiligen Abstand von einander kennt, so ist es leicht, die Geschwindigkeit des Lichtes zu berechnen. Nähert sich die Erde dem Jupiter, was geschieht, wenn sie sich in dem Theile E ihrer Bahn befindet, so wird die Strecke, die das Licht zurückzulegen hat, von einem Umgange des Trabanten zum andern eine kürzere und darum wird auch ihre Aufeinanderfolge eine raschere; man sieht jedoch auf dieser Seite nicht den Austritt aus dem Schatten, sondern den Eintritt in denselben, der Trabant verschwindet plötzlich.

Da der Aequator der Erde nur eine Länge von 5400 Meilen besitzt, so ergibt sich, daß das Licht, vorausgesetzt daß es statt gerade aus zu gehen eine Kreisbahn verfolgen würde, in einer einzigen Secunde nahezu achtmal um die Erde herumkäme. Die irdischen Distanzen, mit denen man bei dem Lichte zu thun hat, betragen im höchsten Falle 20—30 Meilen und für diese kann man daher die Zeit, welche das Licht sie zurückzulegen bedarf, gänzlich vernachlässigen. Nichts destoweniger ist es in neuerer Zeit Fizeau gelungen, vermittelst eines sehr sinnreichen Apparates die Geschwindigkeit des Lichtes unter alleiniger Anwendung irdischer Distanzen zu messen, und sein Resultat (42505 Meilen) stimmt mit dem Römer'schen so genau zusammen, als es die bei beiden Methoden unvermeidlichen Beobachtungsfehler zulassen.

§. 130. Wie die Schwere und der Schall, so nimmt auch das Licht bei zunehmender Entfernung von der Quelle ab wie das Quadrat der Entfernung wächst (§§. 20 u. 114). Auch der Winkel, unter dem das Licht auf die zu beleuchtende Fläche auffällt, ist von Einfluß auf den Grad der Beleuchtung. Die Beleuchtung einer Fläche wächst wie der Sinus des Winkels, den die Fläche mit der Richtung der Strahlen macht.

Stellen (Fig. 146) die parallelen Linien die Lichtstrahlen vor, die von einem entfernten Gegenstande auf die Fläche AB fallen, welche auf der Richtung der Strahlen senkrecht steht, die also gegen dieselben eine Neigung von 90 Graden hat, so wird AB eine bestimmte Beleuchtung erlangen. Denkt man sich nun die Fläche AB so gedreht, daß sie die Stellung Ab einnimmt, so fallen nicht mehr alle Strahlen auf dieselbe, sondern nur so viele als vorhin ein Stück erhielt, welches der Größe von ab gleichkommt. Die beiden Beleuchtungen verhalten sich daher wie AB : ab oder wie

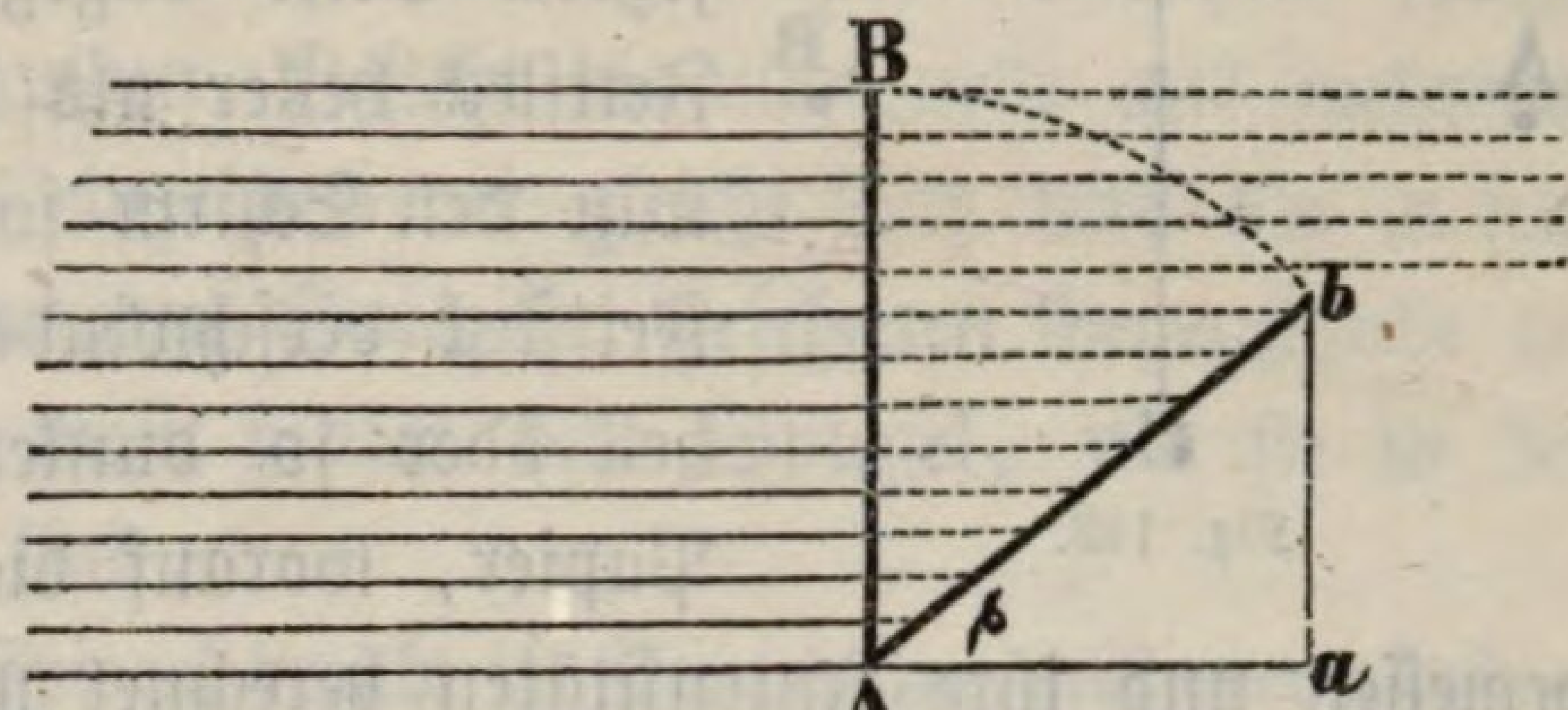


Fig. 146.

$$AB \sin 90^0 : AB \sin \varphi = 1 : \sin \varphi.$$

§. 131. Die einfachste Art, das von verschiedenen Quellen etwa einer Lampe und einer Kerze herkommende Licht zu vergleichen, ist von Rumford vorgeschlagen worden und beruht auf Folgendem:

Zwei Lichtquellen A und B (Fig. 147) werden vor einer weißen Wand W aufgestellt, vor welcher sich ein undurchsichtiger Stab C von der Dicke eines Bleistiftes befindet. Die beiden Lichter beleuchten nun die Wand, aber der Stift C wirft seine Schatten und zwar wird der A entsprechende nach d, der B entsprechende nach e fallen und das Licht, welches die einzelnen Stellen der Wand erhalten, wird folgendes sein. Auf a und b entspricht es A + B, weil diese Stellen von A und B beleuchtet werden, an d entspricht es B, denn die Strahlen von A sind abgehalten und an e hängt es von A ab. Ist nun A heller als B, so wird auch e stärker beleuchtet sein als d und umgekehrt. Verändert man die Entfernungen der Lichtquellen, so kann man es leicht dahin bringen, daß e = d wird; man mißt nun die Distanzen ab, und aus dem Satze, daß die Intensität des Lichtes abnimmt wie das Quadrat der Entfernungen wächst, findet man leicht das gegenseitige Verhältniß der beiden Lichter.

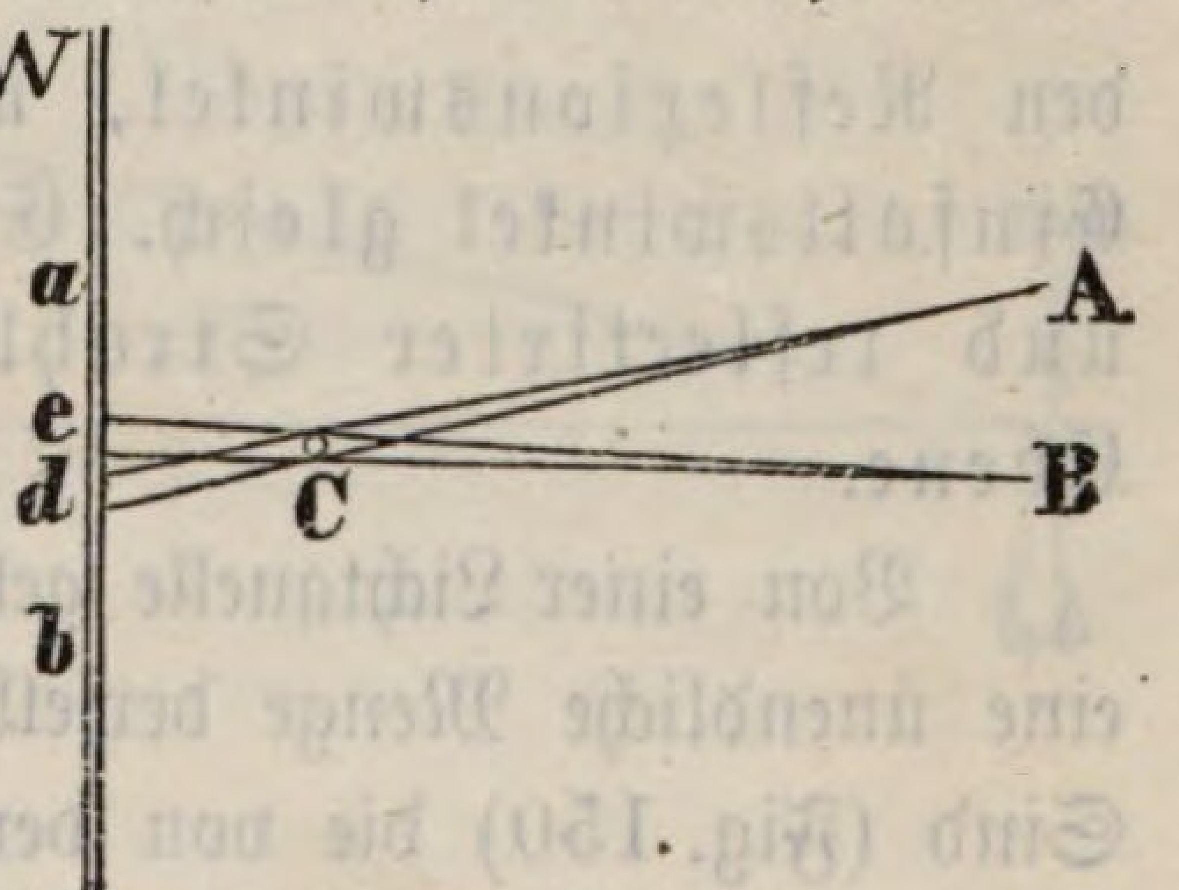


Fig. 147.

Ebenfalls sehr einfach ist das Photometer von Bunsen. Zwischen den beiden Lichtquellen A und B (Fig. 148) befindet sich ein Papierschirm C, auf dem vermittelst Stearin ein Fettfleck gemacht wurde. Ist A heller als B, so sieht man von der Aseite aus den Fettfleck dunkel,

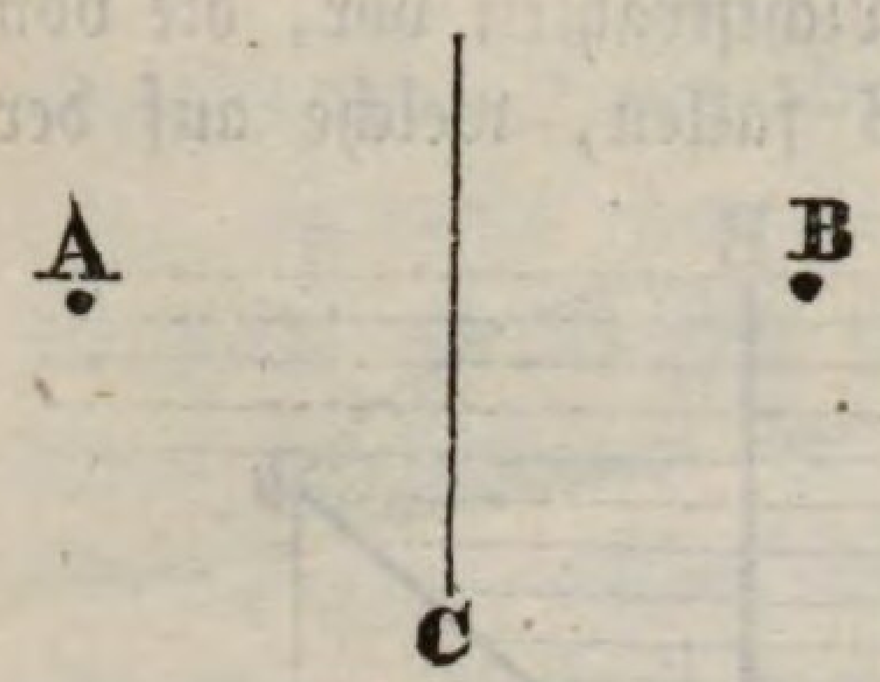


Fig. 148.

das übrige Papier hell, von der entgegengesetzten Seite dagegen betrachtet erscheint der Fettfleck heller als das Papier und man schiebt nun den Schirm so lange hin und her, bis der Fettfleck verschwindet, d. h. bis er gerade so hell oder so dunkel erscheint als das übrige Papier, worauf die Entfernungen der Lichter gemessen und ihre Intensitäten berechnet werden.

§. 132. Fällt Licht auf einen undurchsichtigen Körper, so wird es von demselben reflectirt und der Weg, den der Strahl von nun an einschlägt, ist von dem Winkel abhängig, den er bei seiner Ankunft mit der reflectirenden Fläche gemacht hat. Ist AB (Fig. 149) die reflectirende Fläche, welche von dem Lichtstrahle aC an dem Puncte C getroffen wird, so macht dieser mit der in C auf AB senkrecht stehenden Geraden bC, dem Einfallslothe, einen Winkel aCb, den Einfallswinkel. Der reflectirte Strahl Cd macht mit dem Einfallslothe den Reflexionswinkel, und der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich. Einfallender Strahl, Einfallsloth und reflectirter Strahl liegen in einer und derselben Ebene.

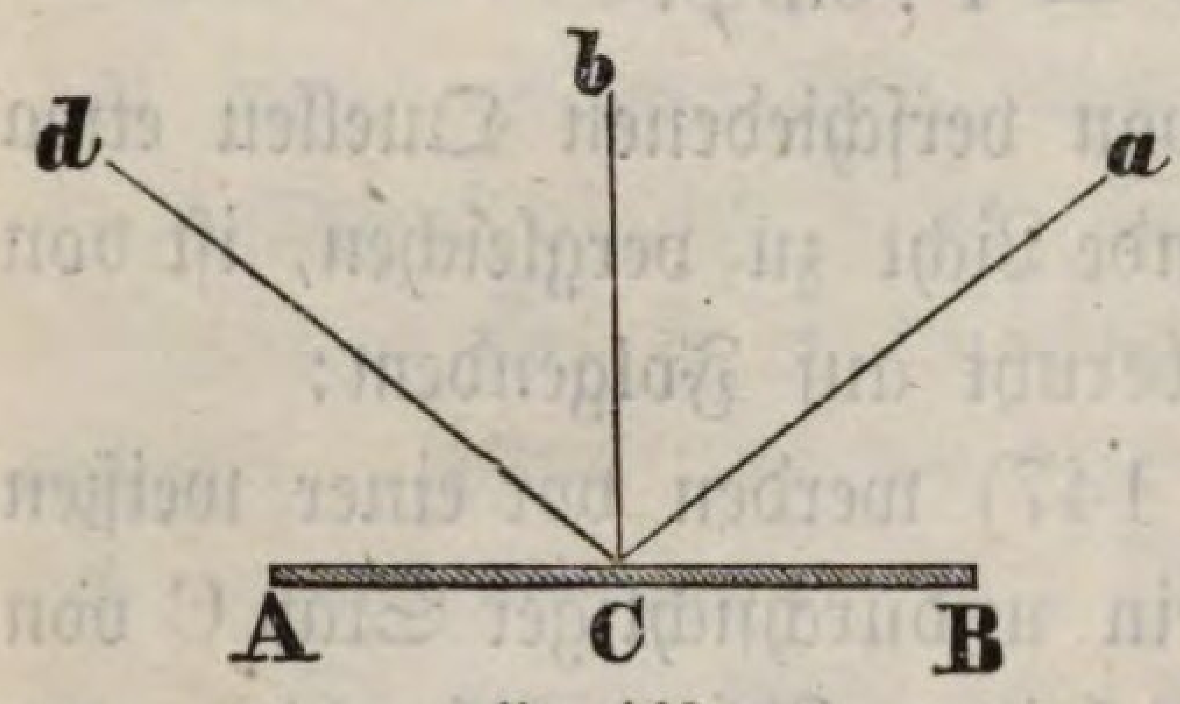


Fig. 149.

Von einer Lichtquelle geht nicht ein einziger Strahl aus, sondern eine unendliche Menge derselben verbreitet sich nach allen Richtungen. Sind (Fig. 150) die von der Lichtquelle a ausgehenden Geraden die Vertreter einiger dieser Strahlen, die auf die Ebene AB fallen, so werden sie reflectirt und die Linien b, c, d, e geben die nunmehrige Richtung eines jeden derselben an. Verfolgt man die reflectirten Strahlen nach rückwärts, so schneiden sie sich in einem Puncte a_1, der eben so weit hinter der Ebene liegt, als a vor derselben ist, und der sich auch

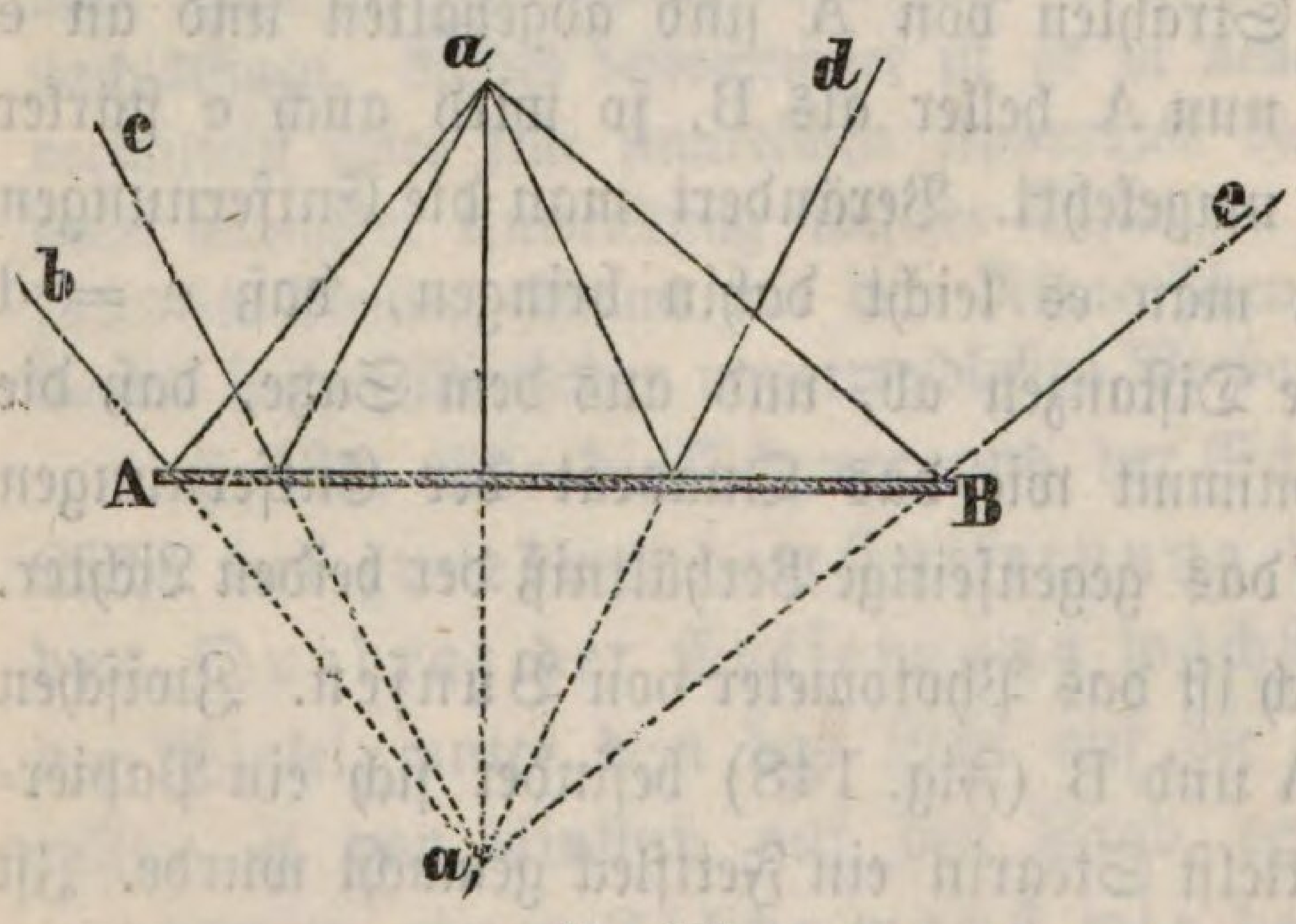


Fig. 150.

in der Verlängerung der Senkrechten befindet, die man von a auf die Ebene zieht. Ein Auge, in welches die reflectirten Strahlen fallen, wird a in a_1 zu sehen glauben. Besteht die Lichtquelle aus mehreren Puncten, so gilt für jeden einzelnen der gleiche Satz und die in sehr ebenen Flächen, den sogenannten Spiegeln, gesehenen Gegenstände erscheinen daher jederzeit so weit hinter dem Spiegel, als sie in der Wirklichkeit vor demselben sind.

Auf der Wirkung der Spiegel beruht die Einrichtung mehrerer physicalischer Apparate. Der Heliostat ist ein Spiegel, dem eine solche Stellung gegeben werden kann, daß er das Licht der Sonne durch ein enges Loch in ein dunkles Zimmer reflectirt, in welchem dann weitere Untersuchungen mit demselben vorgenommen werden können. Weil die Sonne der Drehung der Erde wegen nicht immer an dem gleichen Orte gesehen wird, muß auch die Stellung des Spiegels fortwährend geändert werden, was entweder mit der Hand oder vermittelst eines Uhrwerks geschieht. Der Spiegelapparat von Poggendorff dient dazu, kleine Drehungen von Körpern mit großer Genauigkeit zu messen. Zu diesem Zwecke wird ein Spiegel fest mit dem sich drehenden Gegenstande verbunden, worauf man die von ihm reflectirten Bilder mit dem Fernrohre beobachtet. Ist z. B. ab (Fig. 151) ein solcher Spiegel, der sich etwa an einem Magnetstabe befindet, dessen verschiedene Stellungen man untersuchen will, so kann man durch das Fernrohr A, das etwas gegen den Horizont geneigt ist, den Punct o der Latte EF, die sich unterhalb des Fernrohres befindet, abgespiegelt sehen. Dreht sich ab nach

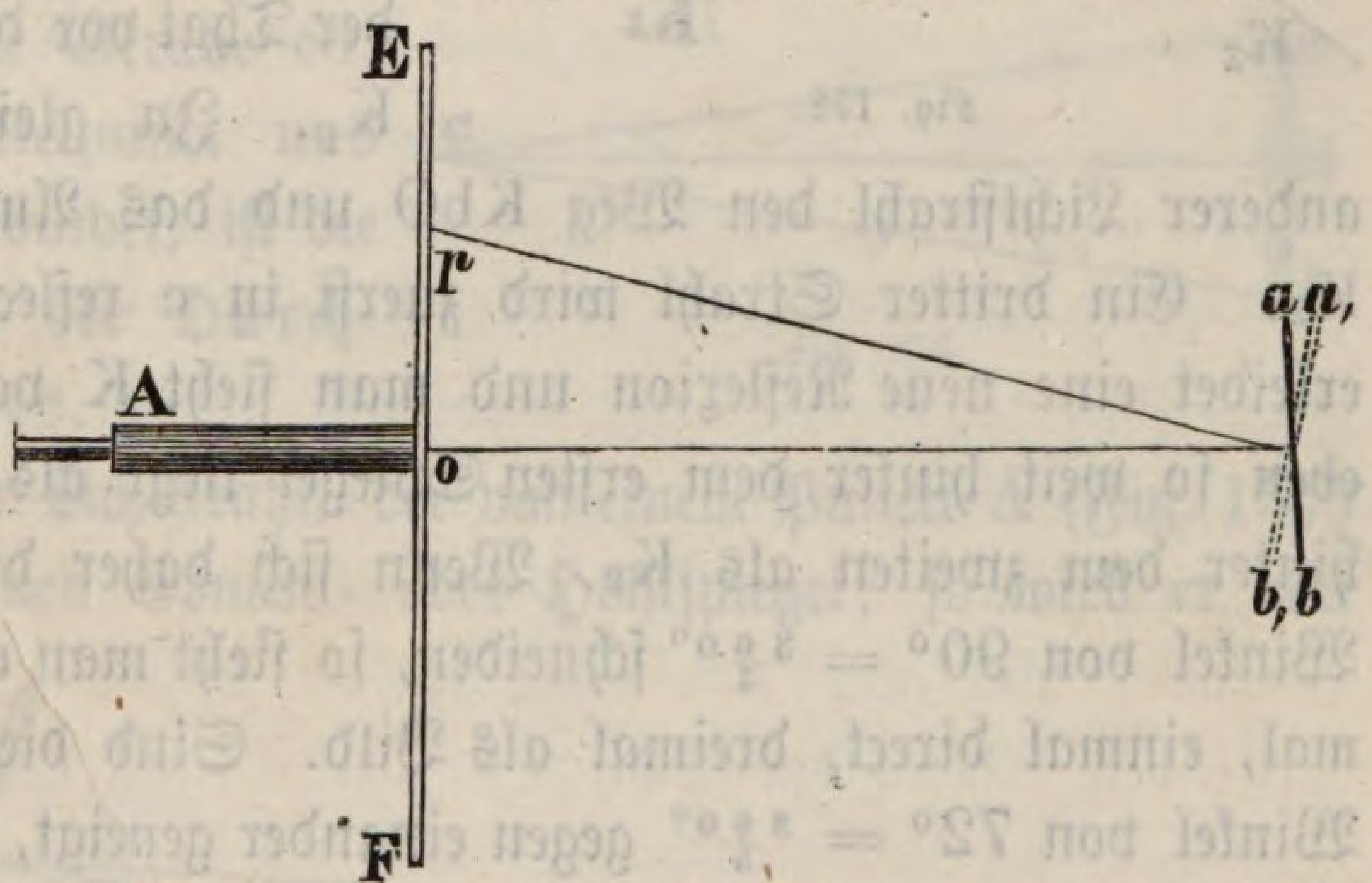


Fig. 151.

a_1b_1, so sieht man dem Reflexionsgesetze zufolge nicht mehr o sondern p, und aus den leicht meßbaren Distanzen zwischen Latte und Spiegel, sowie zwischen o und p ist es leicht, den Drehungswinkel des Spiegels und somit des Magnetstabes zu berechnen.

Als Material, aus dem die Spiegel hergestellt werden, nimmt man für den gewöhnlichen Gebrauch Glas, das mit Amalgam belegt ist. Diese Spiegel haben jedoch den Nachtheil, daß sie eigentlich aus 2 über einander liegenden Spiegeln bestehen, von denen der eine durch die Vorderfläche des Glases, der andere durch das an der Hinterfläche befindliche Amalgam gebildet wird. Es entstehen so 2 Bilder, von denen eines die Reinheit des andern stört, und wenn man daher sehr gute Bilder haben will, muß man Spiegel aus Metall darstellen, wozu eine Legirung von Kupfer und Zinn (oder Zink) mit etwas

Arsen verwendet wird. In neuerer Zeit verwendet man auch Glas, das auf der Vorderseite mit einer ganz dünnen Silberschichte belegt ist.

§. 133. Verwendet man 2 Spiegel, so können wiederholte Reflexionen stattfinden, indem Strahlen, die schon von dem einen Spiegel reflectirt wurden, auf den andern fallen und auch von diesem zurückgeworfen werden. Stehen (Fig. 152) die 2 Spiegel A und B senkrecht auf einander und ist O der Ort des Auges, K der des Licht ausspendenden Gegenstandes, so wird, da letzterer sein Licht nach allen Richtungen abgibt, unter diesen auch eine solche sein, welche auf A unter einem solchen Winkel auffällt, daß er nach der Reflexion in's Auge gelangt. Dieser Strahl macht den Weg KaO. Das Auge sieht den Gegenstand in der Richtung Oa und verlegt ihn so weit hinter den Spiegel, als er in der That vor demselben ist, also nach K_1. In gleicher Weise macht ein anderer Lichtstrahl den Weg KbO und das Auge sieht das Licht in K_2. Ein dritter Strahl wird zuerst in c reflectirt, gelangt nach d, erleidet eine neue Reflexion und man sieht K von O aus in K_3, das eben so weit hinter dem ersten Spiegel liegt als K_1 und eben so weit hinter dem zweiten als K_2. Wenn sich daher die Spiegel unter dem Winkel von $90^\circ = \frac{360^\circ}{4}$ schneiden, so sieht man einen Gegenstand viermal, einmal direct, dreimal als Bild. Sind die Spiegel unter einem Winkel von $72^\circ = \frac{360^\circ}{5}$ gegen einander geneigt, so sieht man K fünfmal, bei einem Winkel von $60^\circ = \frac{360^\circ}{6}$ sechsmal, und allgemein bei einem Winkel von $\frac{360^\circ}{n}$ nmal.

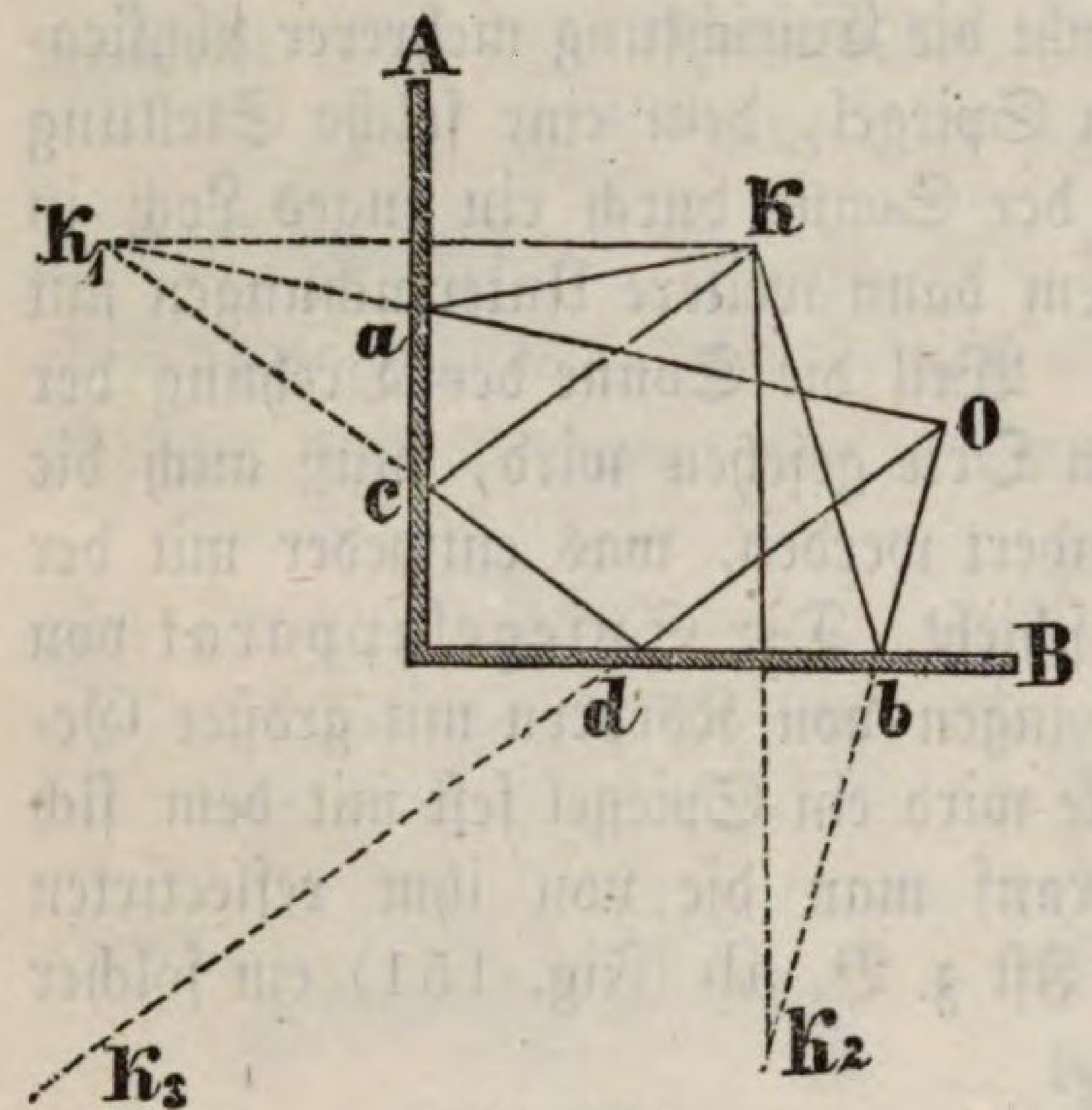


Fig. 152.

Auch die Winkelspiegel werden zur Ermittelung der Größen von Winkeln benützt. In dem Kaleidoscope werden die Bilder dadurch hervorgebracht, daß man die Lichtstrahlen von 2 Spiegeln reflectiren läßt, die 60 Grade gegen einander geneigt sind.

§. 134. Das Gesetz der Reflexion des Lichtes bleibt unverändert, wenn die reflectirende Fläche gekrümmt ist. Man kann eine gekrümmte Fläche als aus einer unendlichen Menge ganz kleiner Ebenen zusammengesetzt betrachten, die jede gegen die andere wenn auch noch so wenig geneigt sind. Fällt nun ein Lichtstrahl auf die krumme Fläche,

so kann man an dem Puncte, wo er sie trifft, eine Ebene annehmen, und die Reflexion hängt von dem Winkel ab, den der einfallende Strahl mit der auf dieser Ebene errichteten Senkrechten macht. Zwischen krummen Flächen und den Ebenen bleibt daher für uns nur der Unterschied zu beachten, daß bei letzteren die auf den verschiedenen neben einander befindlichen Puncten errichteten Senkrechten parallel mit einander sind, was bei den gekrümmten Flächen nicht stattfindet. Convergiren die neben einander errichteten Einfallslothe einer Fläche, so heißt sie concav (Fig. 153), divergiren sie, so wird die Fläche convex (Fig. 154), und stehen sie parallel, so erhält man die Ebene (Fig. 155). Die gekrümmten Spiegel, die in der Praxis vorkommen, sind alle sphärisch, d. h. sie sind Theile einer Kugeloberfläche, deren Mittelpunct c (Fig. 156) den Namen Krümmungsmittelpunct führt, während der Winkel acb Oeffnung des Spiegels heißt. Die Gerade cd, welche Krümmungsmittelpunct und Spiegelmittelpunct verbindet, ist die Axe, die Gerade ab der Durchmesser des Spiegels.

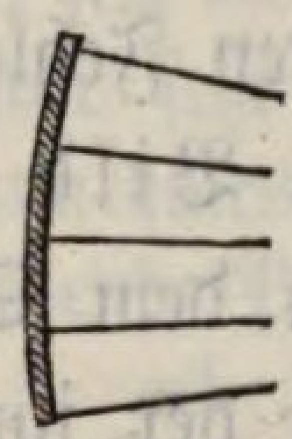


Fig. 153.

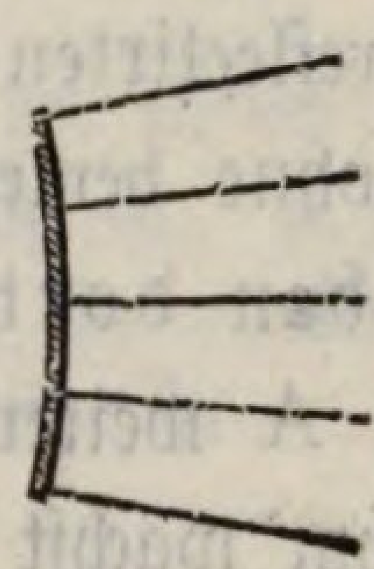


Fig. 154.

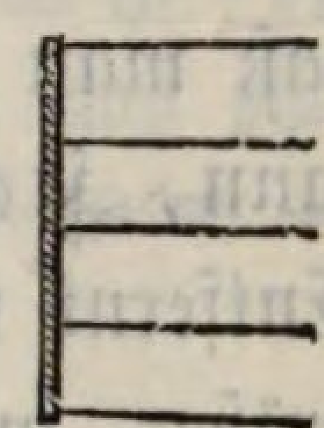


Fig. 155.

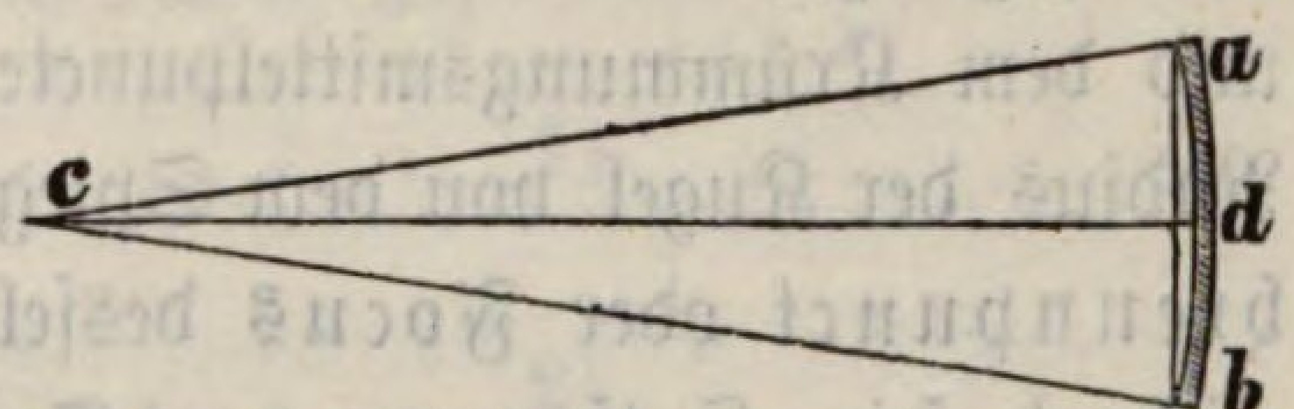


Fig. 156.

§. 135. Fällt ein Lichtstrahl, der von einem Puncte A (Fig. 157) ausgeht, in e auf einen Concav- oder Hohlspiegel, so wird er von demselben reflectirt. Um den Weg des reflectirten Strahles zu finden, zieht man von dem Krümmungs-Mittelpuncte c aus eine Gerade nach e. Diese Gerade ist ein Radius der Kugel, und weil jeder Radius einer Kugel senkrecht auf dem von ihm getroffenen Theile der Kugelfläche steht ist ce das Einfallsloth von e, der Winkel Aec ist der Einfallswinkel von Ae und wenn ∠ Aec = ∠ cef, so ist letzterer der Reflexionswinkel und der Lichtstrahl schneidet die Axe in f. Ein anderer von A ausgehender Strahl wird in d reflectirt und

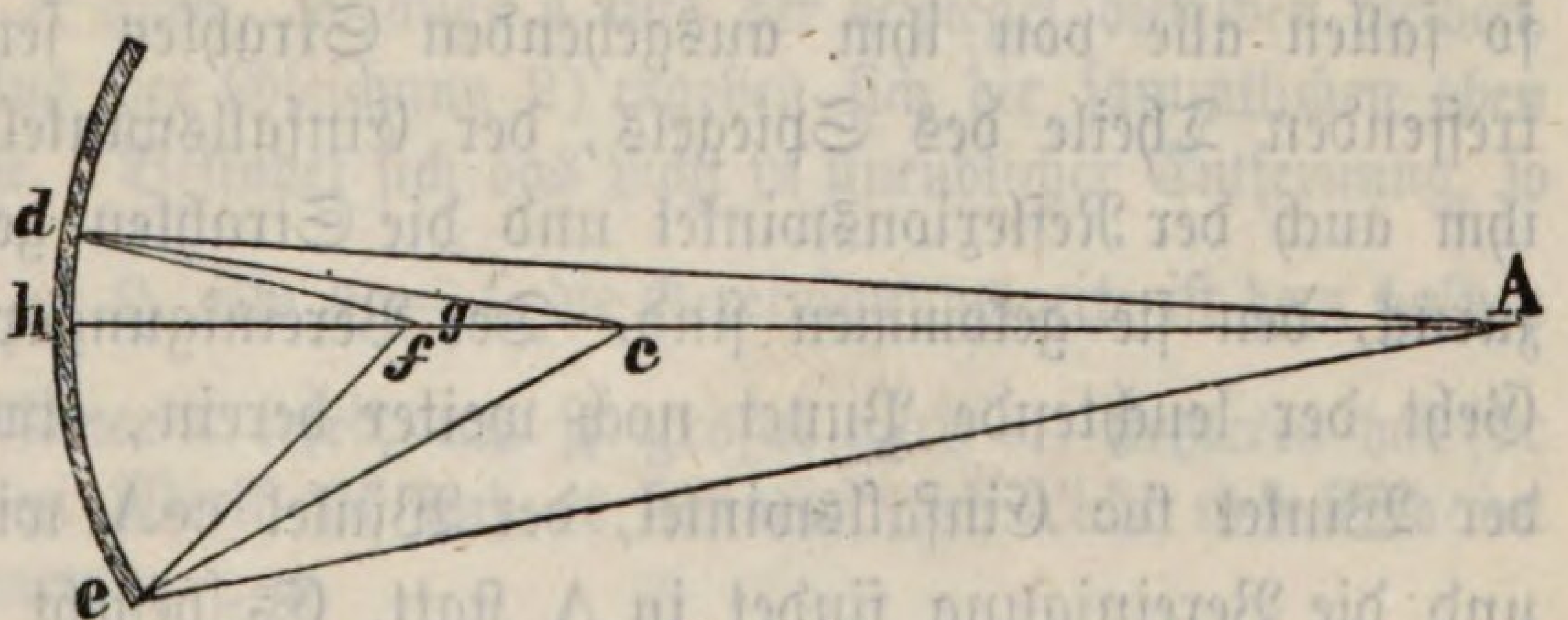


Fig. 157.

schneidet dann die Axe in g. Da A nicht nur nach diesen beiden Stellen, sondern nach sämmtlichen Puncten des in der Figur angegebenen Kreisbogens Licht ausspendet und sämmtliche Strahlen nach dem nämlichen Gesetze reflectirt werden, so werden sie alle die Axe an Puncten schneiden, die zwischen f und c liegen. Denkt man sich den Kreisbogen um hA als Drehungsaxe gedreht, so erhält man eine Kugelschale, den Spiegel, und für diesen gilt dasselbe was für den Kreisbogen. In dem Falle, daß die Oeffnung des Spiegels nur sehr gering ist, sich auf wenige Grade erstreckt, sind diese Durchschnittspuncte g und f der reflectirten Strahlen und der Axe so nahe bei einander, daß man sie ohne bemerkbaren Fehler als zusammenfallend betrachten kann, sie geben dort ein Bild des leuchtenden Punctes A. Entfernt man A weiter von dem Spiegel, so wird der Winkel Aec größer, mit ihm wächst auch der ihm stets gleiche Reflexionswinkel fec und der Vereinigungspunct f der Strahlen rückt daher dem Spiegel näher. Ist A unendlich weit von dem Spiegel entfernt, so ist der Vereinigungspunct der Strahlen in der Mitte zwischen dem Spiegel und dem Krümmungsmittelpuncte. Dieser um die Größe des halben Radius der Kugel von dem Spiegel entfernte Punct heißt der Hauptbrennpunct oder Focus desselben und wird gewöhnlich mit F bezeichnet, seine Entfernung vom Spiegel heißt Brennweite. In diesem Falle sind die hereinkommenden Strahlen parallel. Rückt man A gegen den Spiegel herein, so entfernt sich der Vereinigungspunct der Strahlen von dem Spiegel und hat A den Krümmungsmittelpunct c erreicht, so fallen alle von ihm ausgehenden Strahlen senkrecht auf die betreffenden Theile des Spiegels, der Einfallswinkel verschwindet, mit ihm auch der Reflexionswinkel und die Strahlen gehen denselben Weg zurück, den sie gekommen sind. Der Vereinigungspunct ist also in c. Geht der leuchtende Punct noch weiter herein, etwa nach f, so wird der Winkel fec Einfallswinkel, der Winkel ceA wird Reflexionswinkel und die Vereinigung findet in A statt. Es besteht daher eine Reciprocität zwischen den Entfernungen des Lichtes und des Bildes. Entspricht der Entfernung Ah des Lichtes die Entfernung fh des Bildes, so wird, wenn ersteres nach f gebracht wird, letzteres nach A kommen. Aus diesem Grunde sind die reflectirten Strahlen parallel, sie vereinigen sich in unendlicher Entfernung, wenn das Licht nach F gebracht wird. Befindet sich dieses zwischen F und dem Spiegel, so bekommt man gar kein Bild mehr, denn die Strahlen divergiren noch nach der Reflexion.

Ist (Fig. 158) ae der einfallende, ed der reflectirte Strahl und verlängert man ae bis f, so daß ef = ed wird, so sind, weil ∠ efd = ∠ edf

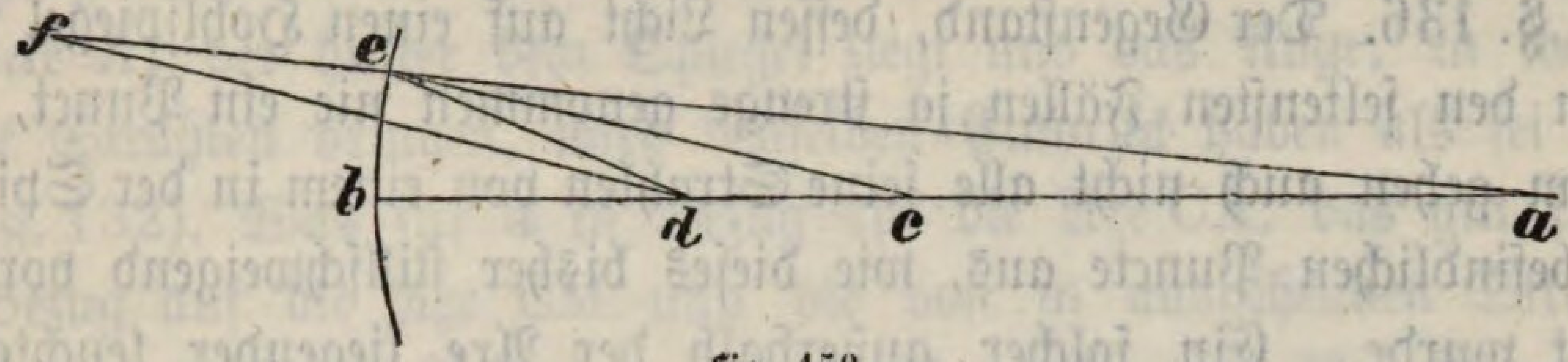


Fig. 158.

und ∠ aed = 2 ∠ ced = ∠ efd + ∠ edf, also ∠ aec = ∠ afd, die zwei Dreiecke aec und afd ähnlich, woraus sich die Proportion

$$ef : ea = dc : ca$$

ergibt, weil aber ed = ef, so ändert sich dieselbe um in ed : ea = dc : ca. Wenn die Oeffnung des Spiegels nur sehr gering ist, so kann man ohne einen merklichen Fehler zu machen, annehmen, daß de = db und ae = ab sei und dadurch wandelt sich die vorstehende Proportion in

$$bd : ab = cd : ac$$

um. Setzt man nun die Größe des Krümmungshalbmessers bc = 2f, die Entfernungen der Lichtquelle und des Vereinigungspunctes der Strahlen von dem Spiegel gleich a und e, so erhält man

$$e : a = 2f - e : a - 2f,$$

$$e = \frac{af}{a - f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

In diesem Ausdrucke kommt die Entfernung des getroffenen Punctes e des Spiegels von der Axe ab nicht vor, der Ausdruck ist also davon unabhängig und es kann daher ein Strahl auf was immer für einen Punct des Spiegels fallen, er wird, so lange a und der Spiegel dieselben bleiben, nach d kommen. Aus der Gleichung 2) ergeben sich die sämmtlichen oben angeführten Resultate. Befindet sich das Licht in unendlicher Entfernung, so ist $a = \infty$ und $\frac{1}{a} = 0$, also e = f, die Vereinigungsweite ist dem halben Radius gleich. Je kleiner a wird, um so größer wird e. Letzteres hat für a = 2f ebenfalls den Werth 2f und es befinden sich Licht und Bild im Krümmungsmittelpuncte u. s. w.

Durch die Reflexion des Hohlspiegels werden die Lichtstrahlen, die auf die ganze Fläche des Spiegels gefallen sind, in einem einzigen Puncte concentrirt und ihre Wirkung muß daher um so größer sein, je mehr Strahlen zusammenkommen, je größer der Spiegel ist. Die Strahlen der Wärme befolgen dasselbe Gesetz, dem die des Lichtes unterthan sind. Da dadurch bei den Hohlspiegeln, wenn die Strahlen der Sonne, die man wegen der großen Entfernung der letzteren als parallel hereinkommend annehmen kann, mit ihnen aufgefangen werden, an dem oben erwähnten Puncte F große Hitze

entsteht, hat man denselben auch **Brennpunct** genannt, während die Hohlspiegel auch den Namen **Brennspiegel** führen.

§. 136. Der Gegenstand, dessen Licht auf einen Hohlspiegel fällt, ist in den seltensten Fällen ja strenge genommen nie ein Punct, und darum gehen auch nicht alle seine Strahlen von einem in der Spiegelaxe befindlichen Puncte aus, wie dieses bisher stillschweigend vorausgesetzt wurde. Ein solcher außerhalb der Axe liegender leuchtender Punct möge M (Fig. 159) sein. Weil der Spiegel sphärisch ist und

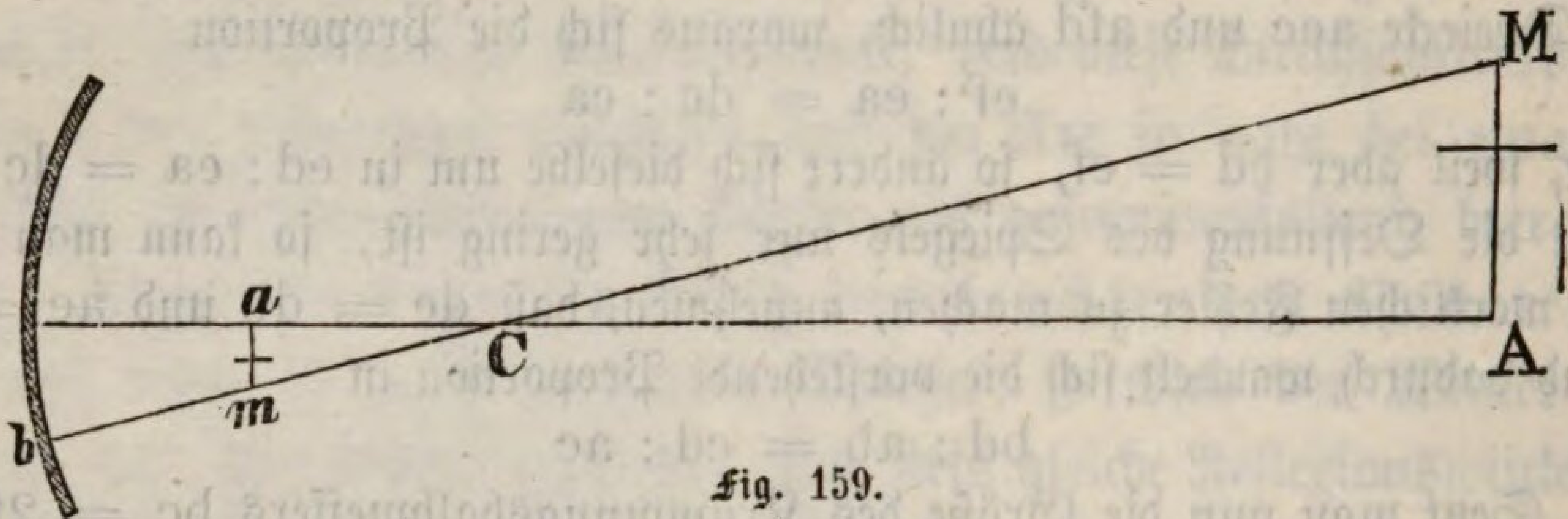


Fig. 159.

allenthalben eine gleiche Krümmung hat, so kann man durch den Punct M und den Krümmungsmittelpunct e zum Spiegel eine Gerade MCb (Nebenachse) ziehen, und da diese sich zu M in derselben Lage befindet wie die Hauptaxe zu A, so wird auf ihr in m ein Bild von M zum Vorschein kommen. Von allen andern Puncten der Lichtquelle kann man sich ebenfalls Nebenaxen construirt denken und es entsteht daher das Bild ma der Lichtquelle MA. Man sieht leicht, daß das Bild verkehrt ist.

Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke MAC und maC kann man, wenn man weiß, wo Lichtquelle und Bild stehen, leicht das Größenverhältniß beider berechnen. Ist MA, das Object, weiter entfernt als der Krümmungsmittelpunct, so ist es größer als ma, im umgekehrten Falle ist es kleiner.

§. 137. Wenn sich die Lichtquelle innerhalb der Brennweite des Spiegels befindet, so divergiren die Strahlen auch noch nach der Reflexion, sie können sich daher nicht mehr zu einem Bilde vereinigen. Ist a (Fig. 160) das leuchtende Object, so werden die Lichtstrahlen nach allen Puncten des Spiegels gehen. Wählt man darunter 3 ganz beliebige ab, ac und ad aus, so sieht man, daß

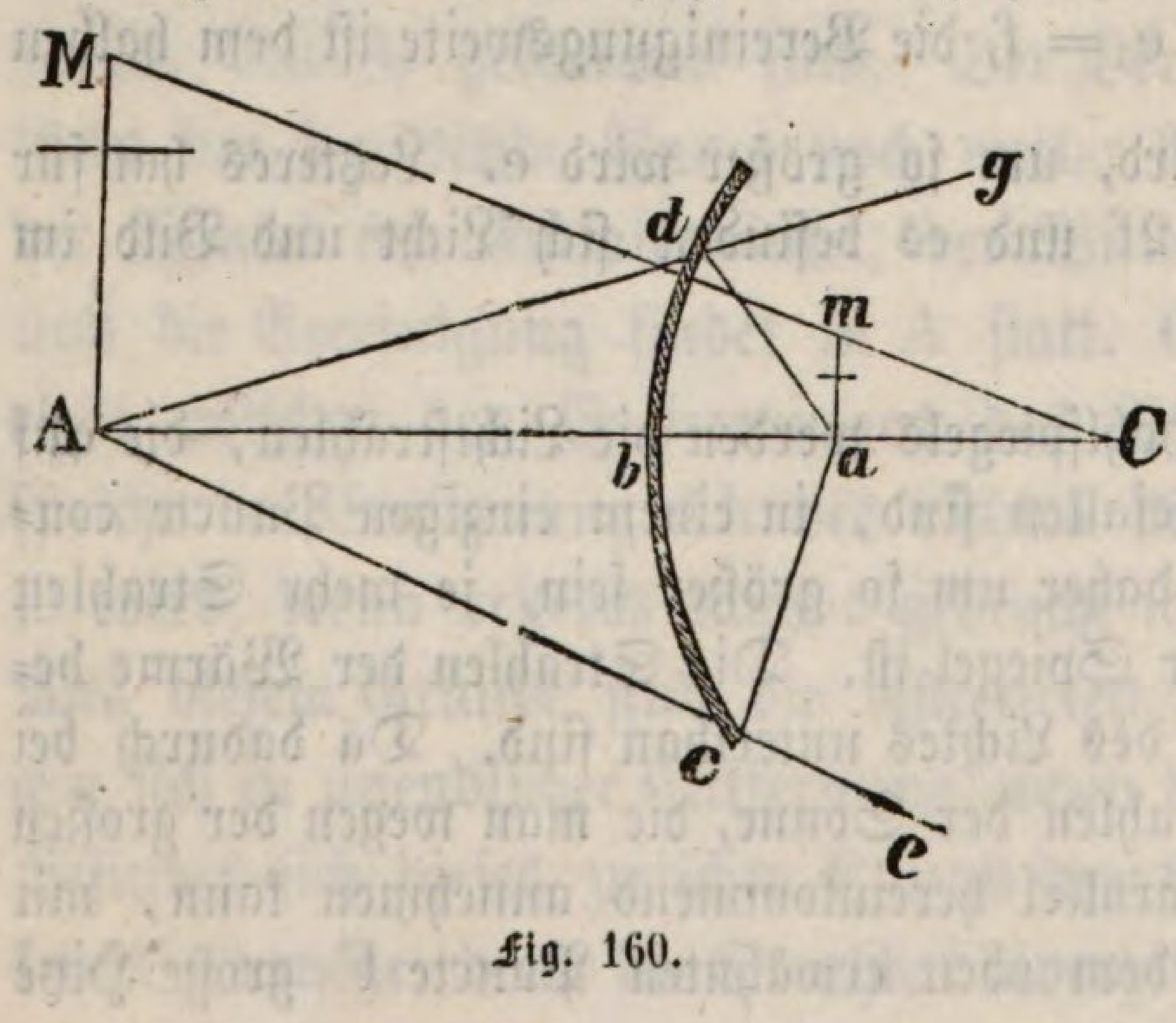


Fig. 160.

dieselben den Reflexionsgesetzen zufolge die Richtungen bC, ce und dg einschlagen. Die Strahlen divergiren so, als kämen sie von einem Puncte A, der hinter dem Spiegel liegt und das Auge, in welches solche Strahlen dringen, wird denselben Eindruck haben als sei a in A (§. 132). Was für a in Bezug auf die Axe CA, das gilt für m in Bezug auf die Axe CM und die von m ausgehenden Strahlen divergiren nach der Reflexion so, als kämen sie von M. Man sieht daher am im Spiegel aufrecht und vergrößert, woher auch der hin und wieder vorkommende Name Vergrößerungsspiegel stammt.

Die Entfernung des scheinbaren Bildes vom Spiegel ergibt sich leicht aus der im §. 135 angeführten Gleichung $e = \frac{af}{a - f}$, denn wenn in derselben a kleiner gesetzt wird als f, so bekommt man für e einen negativen Werth, zum Beweise, daß jetzt bA nach der entgegengesetzten Seite des Spiegels abgemessen werden muß. Der Grad der Vergrößerung ergibt sich aus den ähnlichen Dreiecken Cam und CAM, sobald die Entfernung CA bekannt ist.

§. 138. Die von den Hohlspiegeln hervorgebrachten Bilder treten nur dann rein hervor, wenn die Krümmung des Spiegels sehr gering ist, so daß die Oeffnung desselben nur wenige Grade beträgt, eine Bedingung, deren schon in den vorhergehenden Paragraphen erwähnt wurde. Sollten die Bilder mathematisch genau sein, so dürfte der Spiegel gar nicht gekrümmt sein, dann wäre er aber eben, er würde gar keine oder nur unendlich ferne Bilder geben und wäre daher nicht mehr zu dem angeregten Zwecke zu gebrauchen. Glücklicherweise ist der Fehler bei geringer Oeffnung nur unmerklich klein; wird aber dieselbe bedeutender, so ist ein Undeutlichwerden der Bilder die Folge. In diesem Falle vereinigen sich die Strahlen nicht in einem Puncte, sondern kreuzen die Axe bald näher bei dem Spiegel bald ferner von demselben, wie es Fig. 161 zeigt, und in dem Maaße als die Strahlen

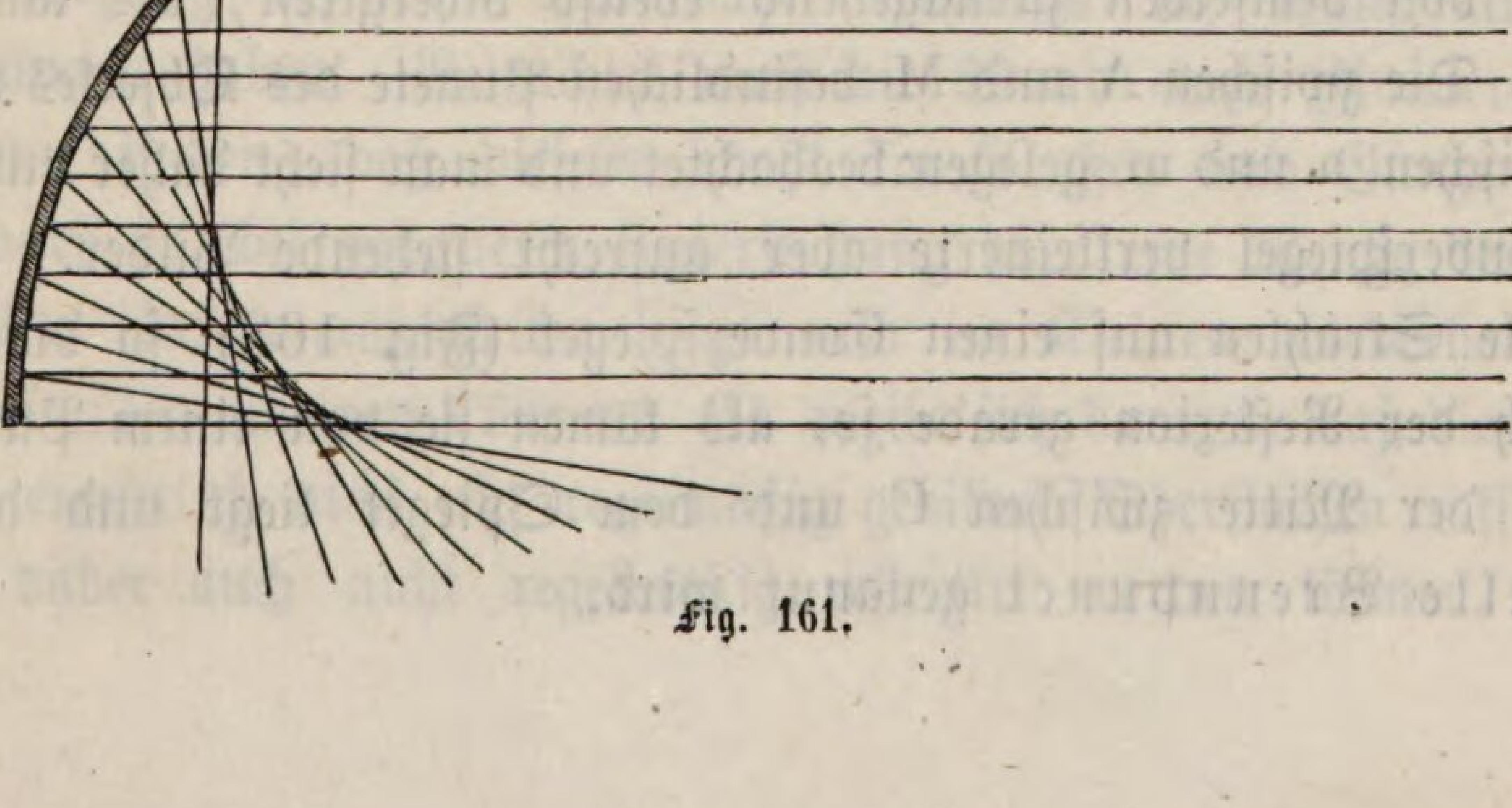


Fig. 161.

auseinander geworfen werden, muß auch die Reinheit des Bildes abnehmen, dessen Zustandekommen eben auf dem Zusammentreffen der Strahlen beruht. Man nennt diesen Fehler die sphärische Aberration. Alle Durchschnittspuncte je zweier neben einander auf den Spiegel fallender Strahlen geben zusammen eine Curve, welche den Namen Brennlinie oder kaustische Linie führt. In Fig. 161 kann deren Form sehr leicht erkannt werden.

§. 139. Während die Hohlspiegel die auf sie fallenden Strahlen zu vereinigen streben, ist die Wirkung der Convexspiegel die entgegengesetzte. Stellt Fig. 162 einen solchen Spiegel vor, und ist wieder in

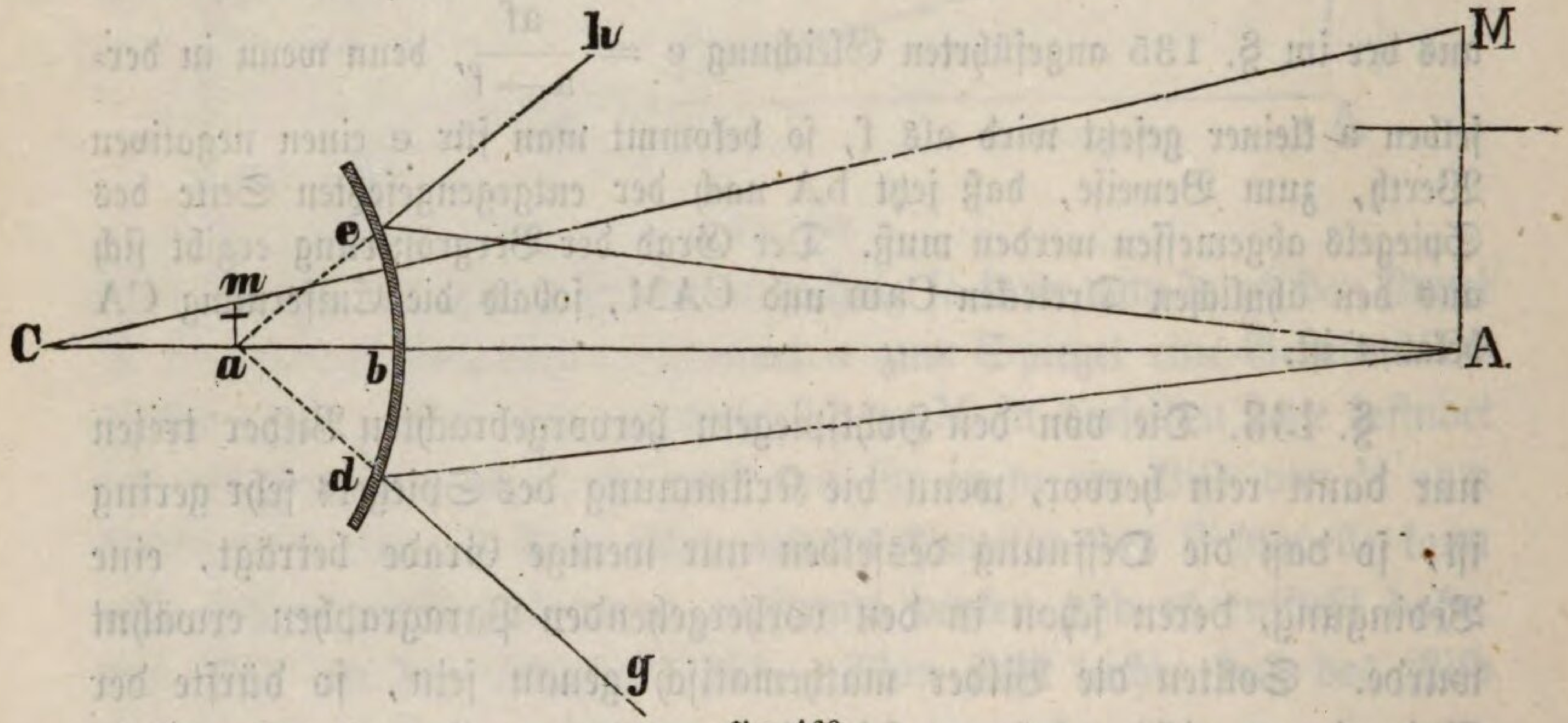


Fig. 162.

C sein Krümmungsmittelpunct, AC seine Hauptaxe, so werden die Strahlen Ad und Ae in den Richtungen dg und eh reflectirt, sie divergiren daher gerade so, als kämen sie von einem Puncte a, der hinter dem Spiegel liegt und dorthin wird auch ein Auge, welches von dem Spiegel reflectirte Strahlen wahrnimmt, den Gegenstand A verlegen. Für einen andern Punct M des Lichtes wird dasselbe Verfahren beobachtet, das bei den Concavspiegeln gilt, man hat daher die Axe MC, und die von M aus auf den Spiegel fallenden Strahlen werden von demselben zurückgehend ebenso divergiren, als kämen sie von m. Die zwischen A und M befindlichen Puncte des Objectes werden als zwischen a und m gelegen beobachtet und man sieht daher mit Hülfe der Convexspiegel verkleinerte aber aufrecht stehende Bilder. Fallen parallele Strahlen auf einen Convexspiegel (Fig. 163), so divergiren sie nach der Reflexion gerade so, als kämen sie von einem Puncte F, der in der Mitte zwischen C und dem Spiegel liegt und der der virtuelle Brennpunct genannt wird.

Der Punct, von welchem die Strahlen her zu kommen scheinen, läßt sich aus den Gleichungen 1) und 2) (§. 135) berechnen, wenn man in denselben f negativ nimmt, weil der Krümmungsradius, dessen Hälfte f ist, nach der entgegengesetzten Seite gemessen wird. Dadurch wird

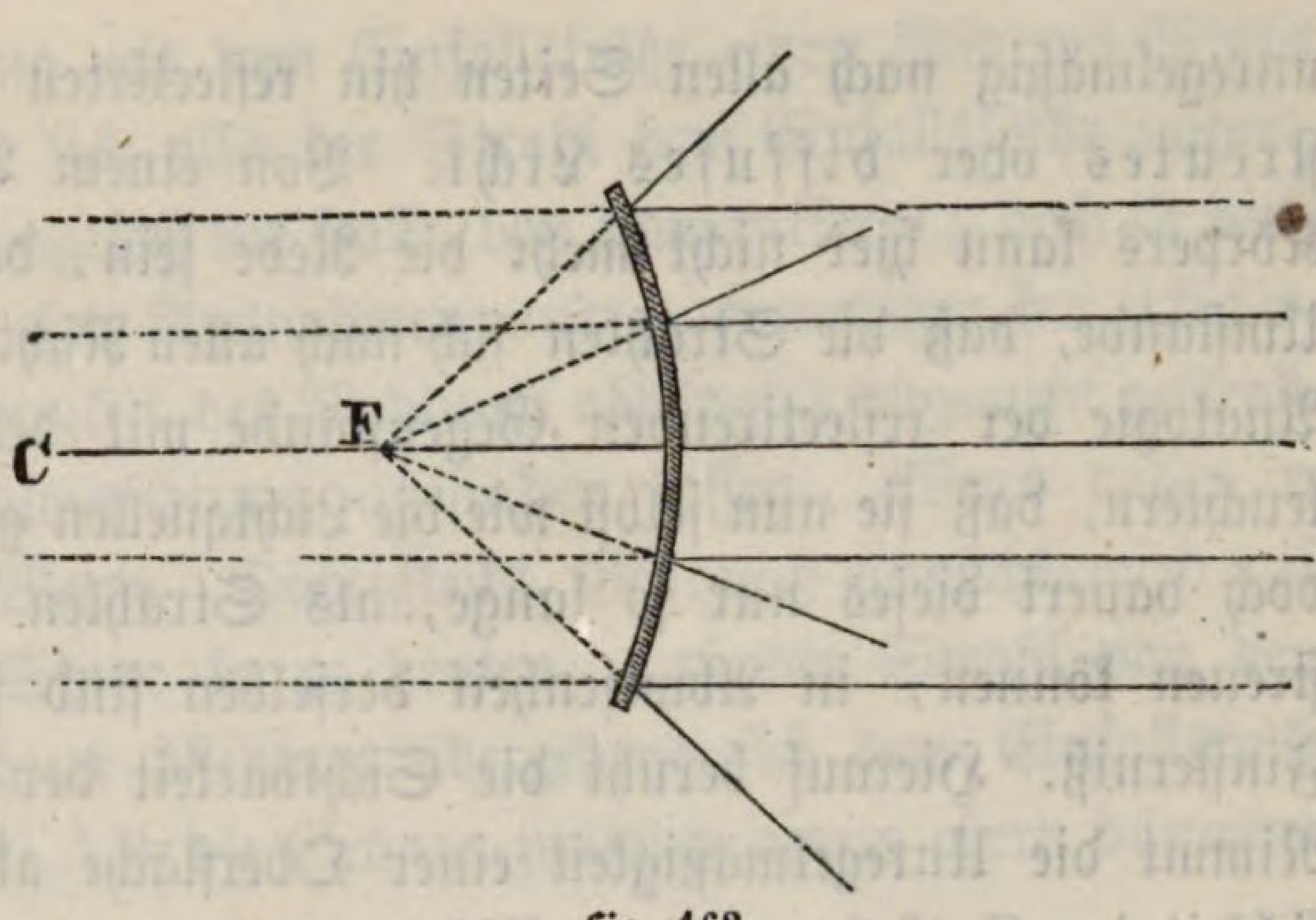


Fig. 163.

$$e = \frac{-af}{a+f} \text{ und } \frac{1}{e} = -\frac{1}{a} - \frac{1}{f}.$$

Je größer a wird, um so größer wird auch der absolute Werth von e und für $a = \infty$ erreicht e den Werth $-\frac{1}{f}$. Fallen parallele Strahlen auf den Convexspiegel (Fig. 163), so zerstreuen sie sich so, als kämen sie von F. Wären aber die punctirten Parallellinien die nun auf die concave Seite fallenden Strahlen, so würden sie sich in F als wahrem Brennpuncte sammeln.

§. 140. Es wurde bisher angenommen, daß die von den Lichtstrahlen getroffene Oberfläche auf einer größeren Strecke, nämlich auf der Ausdehnung des ganzen Spiegels ganz genau nach demselben Gesetze gebildet sei und auf Grund dieser Annahme wurden dann die Reflexionserscheinungen verfolgt. In der Natur ist diese Voraussetzung wenigstens bei festen Körpern niemals erfüllt, da dieselben alle mit größeren oder geringeren Erhabenheiten oder Vertiefungen übersäet sind. Selbst der feinstpolirte Spiegel enthält eine Unzahl von kleinen Rinnen, die durch das Polirpulver hervorgerufen werden, welches man benützt, um die größeren Erhabenheiten zu entfernen. Die Oberflächen der festen Körper sind daher alle mehr oder weniger rauh, während die der Flüssigkeiten sich fast fortwährend in wenn auch noch so geringer Wellenbewegung befinden und daher ebenfalls die manchfaltigsten Krümmungen haben. Betrachtet man die Wand eines Zimmers, so wird man finden, daß dieselbe wohl im Großen und Ganzen eine Ebene darstellt, bei genauerer Untersuchung aber eine Menge der verschiedensten Unregelmäßigkeiten zeigt und im Kleinen wiederholt sich dieses bei allen übrigen Körpern. Es ergibt sich daraus, daß die Lichtstrahlen eigentlich nicht auf regelmäßig gebildete Oberflächen auffallen, daß sie daher auch nicht regelmäßig reflectirt werden können. Die

unregelmäßig nach allen Seiten hin reflectirten Strahlen heißen zerstreutes oder diffuses Licht. Von einem Bilde des leuchtenden Körpers kann hier nicht mehr die Rede sein, dagegen folgt aus dem Umstande, daß die Strahlen sich nach allen Richtungen verbreiten, eine Analogie der reflectirenden Gegenstände mit den eigentlichen Selbstleuchtern, daß sie nun selbst wie die Lichtquellen gesehen werden können; doch dauert dieses nur so lange, als Strahlen da sind, die sie zerstreuen können, in Abwesenheit derselben sind sie dunkel, es herrscht Finsterniß. Hierauf beruht die Sichtbarkeit der Körper um uns her. Nimmt die Unregelmäßigkeit einer Oberfläche ab, so wächst die Möglichkeit der Entstehung eines Bildes und vermindert sich die Masse des zerstreuten Lichtes. Mit der Vollkommenheit des Bildes geht ein Abnehmen der Sichtbarkeit Hand in Hand und in dem idealen Falle, daß man mit einer vollkommen ebenen Fläche zu thun hätte, würde man wohl die gespiegelten Gegenstände nicht aber die Ebene selbst sehen können. Leitet man vermittelst des Heliostaten Licht auf einen in einem dunkeln Zimmer befindlichen Spiegel, so sieht man sowohl diesen, als das von ihm an die Wand reflectirte Sonnenbild. Stäubt man den Spiegel mit Mehl ein, so wird seine Oberfläche unregelmäßig und man sieht ihn in dem Maaße heller, als das Bild an der Wand dunkler wird.

Die Zerstreuung des Lichtes geschieht auf Kosten der Helligkeit des durch Reflexion entstehenden Bildes, die letztere ist aber außerdem noch von dem Winkel, unter dem die Lichtstrahlen einfallen, abhängig. Wächst derselbe, so wird das Bild heller, doch verschwindet es darum nicht ganz, wenn die Strahlen senkrecht einfallen. Bei dem Auffallen der Lichtstrahlen werden durch dieselben Bewegungen in dem reflectirenden Körper hervorgerufen, welche denen des zurückgehenden Lichtes Abbruch thun. Es kommt hiebei auch die Natur des reflectirenden Körpers in's Spiel. Ist derselbe durchsichtig, so geht ein Theil der Strahlen durch, ein anderer wird an der Oberfläche reflectirt und die durchgehenden Strahlen fehlen natürlich unter den reflectirten.

§. 141. Fällt ein Lichtstrahl auf einen durchsichtigen Gegenstand, so wird er (wenigstens zum Theile) in diesen eindringen und in ihm fortgehen; die Richtung, die er in dem neuen Medium einschlägt, ist aber im Allgemeinen nicht dieselbe, die er vorher hatte, er wird gebrochen d. h. er ändert seine Richtung bei dem Eintritte, behält jedoch die neue so lange als das durchwanderte Medium dasselbe bleibt, geht also von nun an wieder geradlinig fort. Es ist Regel, daß wenn ein Lichtstrahl aus einem weniger dichten Medium in ein dichteres über=

geht, die neue Richtung mit dem Einfallslothe einen kleineren Winkel macht als vorher, daß sich also der Strahl dem Einfallslothe nähert, während er sich im umgekehrten Falle von ihm entfernt; doch ist diese Regel durchaus nicht ohne Ausnahmen und noch weniger hat sich bisher eine von der Dichtigkeit des Mediums abhängige allgemein geltende Aenderung der Strahlenrichtung auffinden lassen. Wenn daher im Folgenden von dem Worte „Dichtigkeit" Gebrauch gemacht wird, ist dieselbe im optischen Sinne so zu deuten, daß der Strahl von dem dünneren in das dichtere Medium übergehend sich dem Einfallslothe nähert. Ist (Fig. 164) AB die Gränze zwischen einem obern dünneren und untern dichteren Medium, ab der Weg des einfallenden Strahles, so ist abg der Einfallswinkel. Von b aus geht der Strahl nicht in der Verlängerung bk seiner bisherigen Bahn fort, sondern er wird gebrochen, seine nunmehrige Richtung ist bd und dbh ist der Brechungswinkel. Zieht man

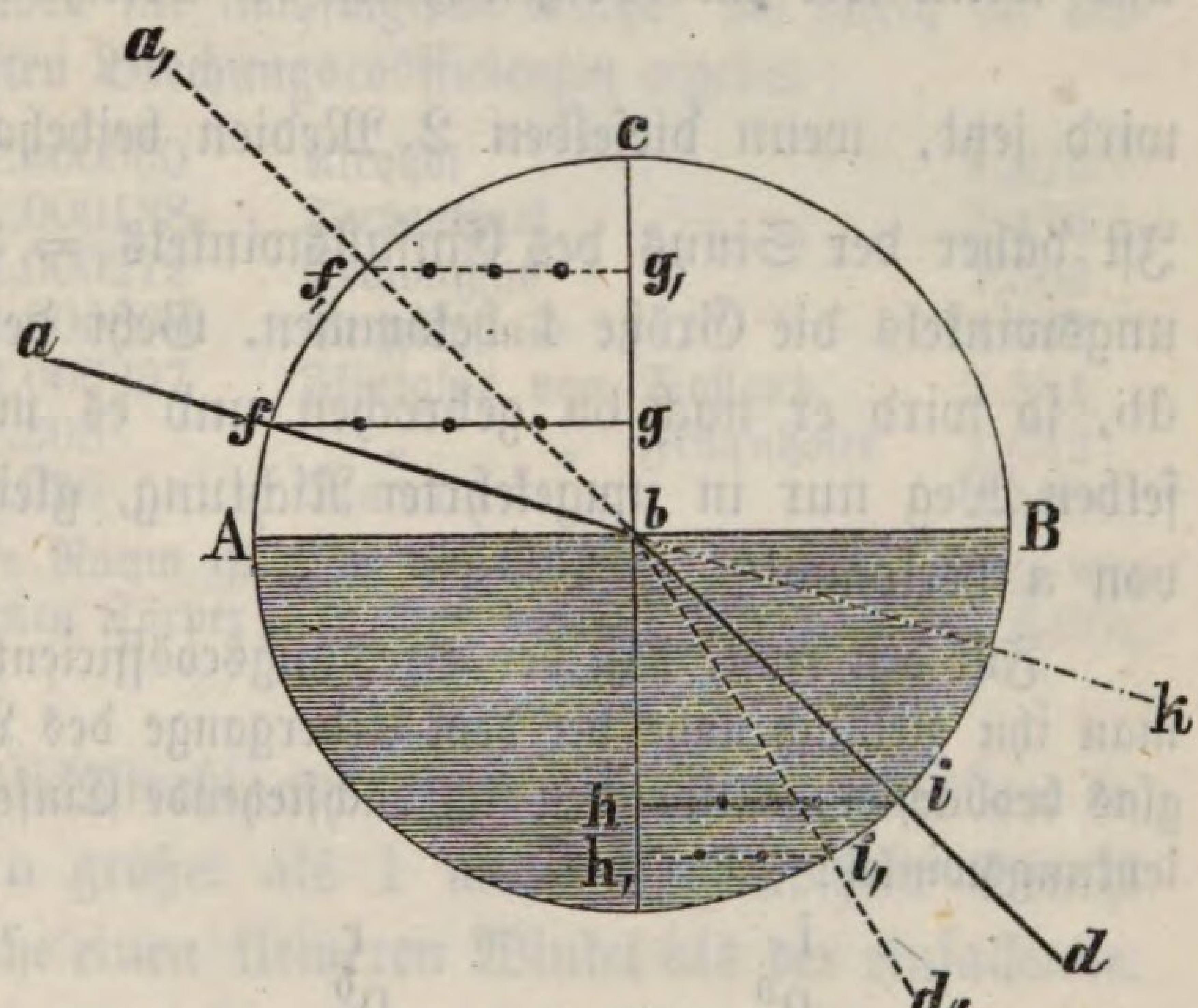


Fig. 164.

um b einen Kreis von beliebiger Größe, und fällt man von f und i die beiden Senkrechten fg und ih auf das Einfallsloth, so heißen, wenn man den Radius des Kreises gleich 1 setzt, die beiden Senkrechten die Sinusse der entsprechenden Winkel. Es ist fg der Sinus des Winkels fbg = sin fbg und in gleicher Weise hi = sin ibh. Nach dem Brechungsgesetze ist das Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des Brechungswinkels für alle Winkel eine constante Zahl. Bedeutet daher i den Einfallswinkel, r den Brechungswinkel, n eine constante Zahl, den sogenannten Brechungscoëfficienten, so ist $\frac{\sin i}{\sin r} = n$. Ist das Verhältniß der beiden Sinusse, wie es bei dem Uebergange des Lichtes von Luft in Wasser nahezu stattfindet, gleich 4 zu 3, so erhält man den Weg des gebrochenen Strahles, wenn man fg in vier Theile theilt und dann in dem andern Halbkreise die Stelle i sucht, wo die von dort auf das Ein=

fallsloth gezogene Senkrechte die Länge von nur 3 Theilen hat. Wäre der Strahl in der Richtung a_1b gekommen, so hätte man f_1g_1 in 4 Theile zu theilen und der gebrochene Strahl ginge in der Richtung bd_1, vorausgesetzt, daß h_1i_1 sich zu f_1g_1 verhält wie 3 zu 4. Wäre der Strahl ab in b nicht gebrochen worden, so hätte er den Weg bk gemacht und die ursprüngliche Richtung bildet mit der nachfolgenden einen Winkel kbd, welcher die Ablenkung heißt.

Geht der Lichtstrahl umgekehrt aus dem dünneren Medium in das dichtere, so wird der Brechungswinkel größer als der Einfallswinkel, und wenn wir im vorigen Falle die Gleichung hatten $\frac{\sin i}{\sin r} = n$, so wird jetzt, wenn dieselben 2 Medien beibehalten werden $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$. Ist daher der Sinus des Einfallswinkels = 3, so muß der des Brechungswinkels die Größe 4 bekommen. Geht der Strahl in der Richtung db, so wird er nach ba gebrochen und es macht das Licht also denselben Weg nur in umgekehrter Richtung, gleichviel ob er von d oder von a herkommt.

Für den Fall, daß der Brechungscoëfficient die Größe $\frac{3}{2}$ beträgt, wie man ihn ziemlich nahe bei dem Uebergange des Lichtes aus Luft in Crownglas beobachtet, entsprechen sich nachstehende Einfalls-, Brechungs- und Ablenkungswinkel:

i	r	Ablenkung
0°	0°	0°
15°	9°56′	5°4′
30°	19°28′	10°32′
45°	28°8′	16°52′
60°	35°16′	24°44′
75°	40°5′	34°55′
90°	41°49′	48°11′

Die Ablenkung wird daher bei zunehmendem Einfallswinkel nicht nur immer größer, sondern wächst auch rascher, denn wenn z. B. der Einfallswinkel von 45° bis 30° abnimmt, so vermindert sich die Ablenkung um 6°20′, während sie um 7°52′ wächst, wenn der Einfallswinkel um 15° größer wird.

Der Brechungscoëfficient n gilt für je 2 Medien und wird bei jeder neuen Combination ein anderer. Das Gesetz, nach welchem sich die Größe von n richtet, ist zur Zeit noch unbekannt und daher muß n für jeden Stoff durch den Versuch ermittelt werden. Hat man jedoch das n für den Uebergang des Lichtes aus dem einen Mittel A in die Mittel B, C, D u. s. w. bestimmt, so kennt man auch diejenigen, welche die Brechungsverhältnisse bei dem Uebergange von B in C, von C in D u. s. w. regeln. Die Untersuchungen des specifischen Gewichtes der Körper haben ergeben (§. 52), daß

z. B. der Diamant 3.520mal, das Quecksilber 13.598mal so dicht sei als das Wasser, und die Frage wie vielmal dichter das Quecksilber sei als der Diamant beantwortet sich ganz einfach, wenn man das specifische Gewicht des Quecksilbers 13.598 durch das des Diamants 3.520 dividirt. In derselben Weise geht es bei dem Brechungscoëfficienten. Ist dieser z. B. für den Uebergang aus der Luft in Wasser $= \frac{4}{3}$ und aus Luft in Glas $= \frac{3}{2}$, so ist er für den Uebergang aus Wasser in Glas $= \frac{4}{3} : \frac{3}{2} = \frac{8}{9}$ und aus Glas in Wasser $= \frac{9}{8}$. Wie man bei dem specifischen Gewichte das Wasser als Einheit setzt und die übrigen Körper damit vergleicht, so nimmt man in der Optik den leeren Raum*) als Ausgangspunct und bestimmt den Brechungscoëfficienten für den Fall, daß das Licht aus diesem in ein anderes Medium übergehe. Die Versuche haben für nachfolgende Körper die durch die beistehenden Zahlen ausgedrückten Brechungscoëfficienten ergeben:

Leerer Raum	1.000000	Alcohol	1.375
Wasserstoffgas	1.000138	Terpentinöl	1.476
Sauerstoffgas	1.000272	Crownglas	1.503
Stickstoffgas	1.000300	Bergkrystall	1.547
Atmosphärische Luft	1.000297	Flintglas von Dollond	1.584
Eis	1.308	„ „ Fraunhofer	1.642
Wasser	1.336	Diamant	2.500

*) Der sogenannte leere Raum ist nicht absolut leer, sondern enthält nur keine der Schwere unterworfenen Körper, in ihm befindet sich noch der Aether (§. 23).

§. 142. Geht der Lichtstrahl aus einem dünneren Medium in ein dichteres über, so ist n größer als 1 und der gebrochene Strahl macht mit dem Einfallslothe einen kleineren Winkel als der einfallende. Das Umgekehrte tritt ein, wenn der Strahl aus dem dichteren Medium in das dünnere übergeht. Läßt man hier den Einfallswinkel mehr und mehr wachsen, so wird auch der Brechungswinkel immer größer und da dieser beträchtlicher ist als der Einfallswinkel, so wird er auch den Werth von 90^0 früher erreichen. In diesem Falle geht also der gebrochene Strahl parallel mit der die beiden Medien scheidenden Fläche fort und wird der Einfallswinkel noch größer, so kann gar kein Licht mehr austreten, es wird dasselbe vollständig reflectirt. Dieses ist der einzige Fall, wo Licht an der Gränze zweier durchsichtigen Körper reflectirt wird, ohne daß das Mindeste davon in den zweiten übergeht, und man nennt diese Erscheinung die totale Reflexion.

In dem §. 141 angeführten Falle des Crownglases ist der Brechungswinkel, der dem Einfallswinkel $41^0 49'$ entspricht, einem Rechten gleich, wenn der Lichtstrahl aus Glas in Luft geht und ein unter diesem Winkel, dem sogenannten Gränzwinkel, eintretender Strahl kann also eben noch austreten. Wird aber der Einfallswinkel größer, so tritt Totalreflexion ein.

§. 143. Geht ein Lichtstrahl aus dem einen Medium auf einen aus einem andern Mittel bestehenden parallelwandigen Körper und von da wieder in das erste Medium zurück, so nimmt er in diesem angelangt wieder die ursprüngliche Richtung an.

Ist der Lichtstrahl AB (Fig. 165) gegeben, so hat er in B den Einfallswinkel ABD und den Brechungswinkel EBF, der sich aus ABD durch die Gleichung $\frac{\sin ABD}{\sin EBF} = n$ berechnen läßt. In der Platte verfolgt der Strahl die Richtung BF, worauf in F der Winkel BFG der neue Einfallswinkel und HFI der neue Brechungswinkel werden. Da von hier an das ursprüngliche Medium wieder eintritt, so ist das Brechungsverhältniß $\frac{1}{n}$ und darum $\frac{\sin BFG}{\sin HFI} = \frac{1}{n}$. Es ist aber der parallelen Wände wegen

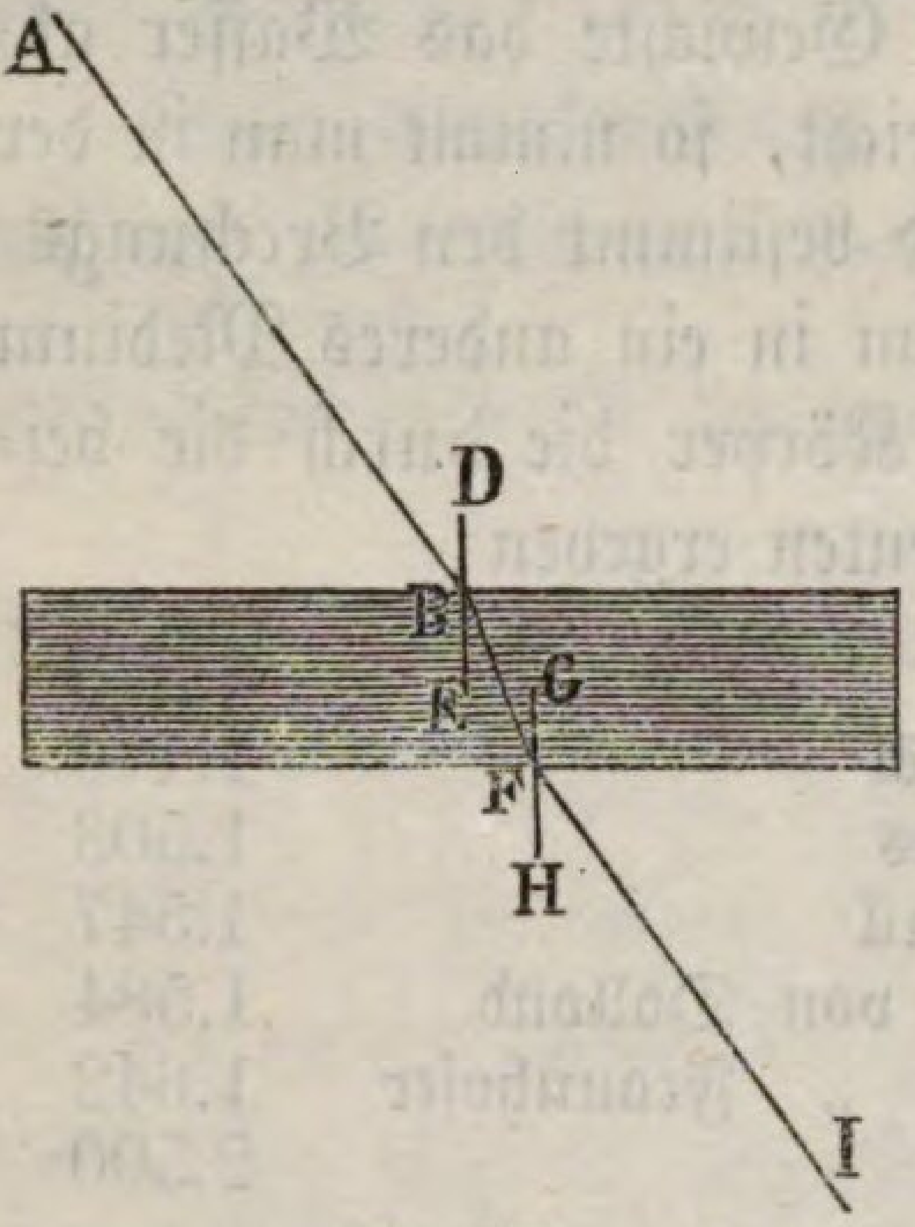


Fig. 165.

$\sin EBF = \sin BFG$, also $\frac{\sin ABD}{\sin BFG} = n$ und weil auch $\frac{\sin HFI}{\sin BFG} = n$ ergibt sich, daß $\sin ABD = \sin HFI$ also auch $\measuredangle ABD = \measuredangle HFI$ sei.

§. 144. Man nennt in der Optik (abweichend von der strengeren Stereometrie) jeden Körper ein Prisma, der von 2 gegen einander geneigten Flächen begränzt ist, gleichviel ob diese sich wirklich schneiden oder nicht. Die Linie, in welcher diese Flächen sich schneiden oder bei gehöriger Verlängerung sich schneiden würden, ist die brechende Kante des Prismas und der Winkel, unter dem der Schnitt erfolgt oder erfolgen würde, heißt der brechende Winkel. Die Fläche, welche der Kante gegenüber liegt oder ihr gegenüber gedacht werden kann, ist die Basis und Hauptschnitt endlich ist der Durchschnitt des Prismas mit einer auf der Kante senkrecht stehenden Ebene.

§. 145. Wenn ein Lichtstrahl, der sich bisher in der Luft bewegte, in der Richtung ab (Fig. 166) in b auf ein Glasprisma fällt, dessen Hauptschnitt durch ABC, dessen (ergänzte) brechende Kante durch B vorgestellt ist, so ist u sein Einfallswinkel, der Brechungswinkel v ist kleiner als u. Der Strahl geht nun im Glase in der Richtung bc fort und verläßt es in c, um von Neuem in die Luft zu treten; diesesmal ist aber der Einfallswinkel w kleiner als der Brechungswinkel x, weil der Uebergang vom dichteren Medium in das dünnere stattfindet, und der Strahl verfolgt nun die Richtung cd. Befindet sich in d ein

Auge, in welches der Lichtstrahl fällt, so sieht es den Gegenstand a in der rückwärts verlängerten Richtung dc, derjenigen, in der sich der Strahl zuletzt bewegt hat, es ist also a scheinbar von seinem eigentlichen Orte entfernt, es ist gegen die brechende Kante B hingerückt. Zieht man lm parallel mit ab und Bn parallel mit cd, so erhält man den Winkel mBn, den Ablenkungswinkel, und dieser erreicht seinen kleinsten Werth, wenn der Strahl das Prisma symmetrisch durchläuft d. h. wenn die Winkel u und x und also auch v und w gleich sind.

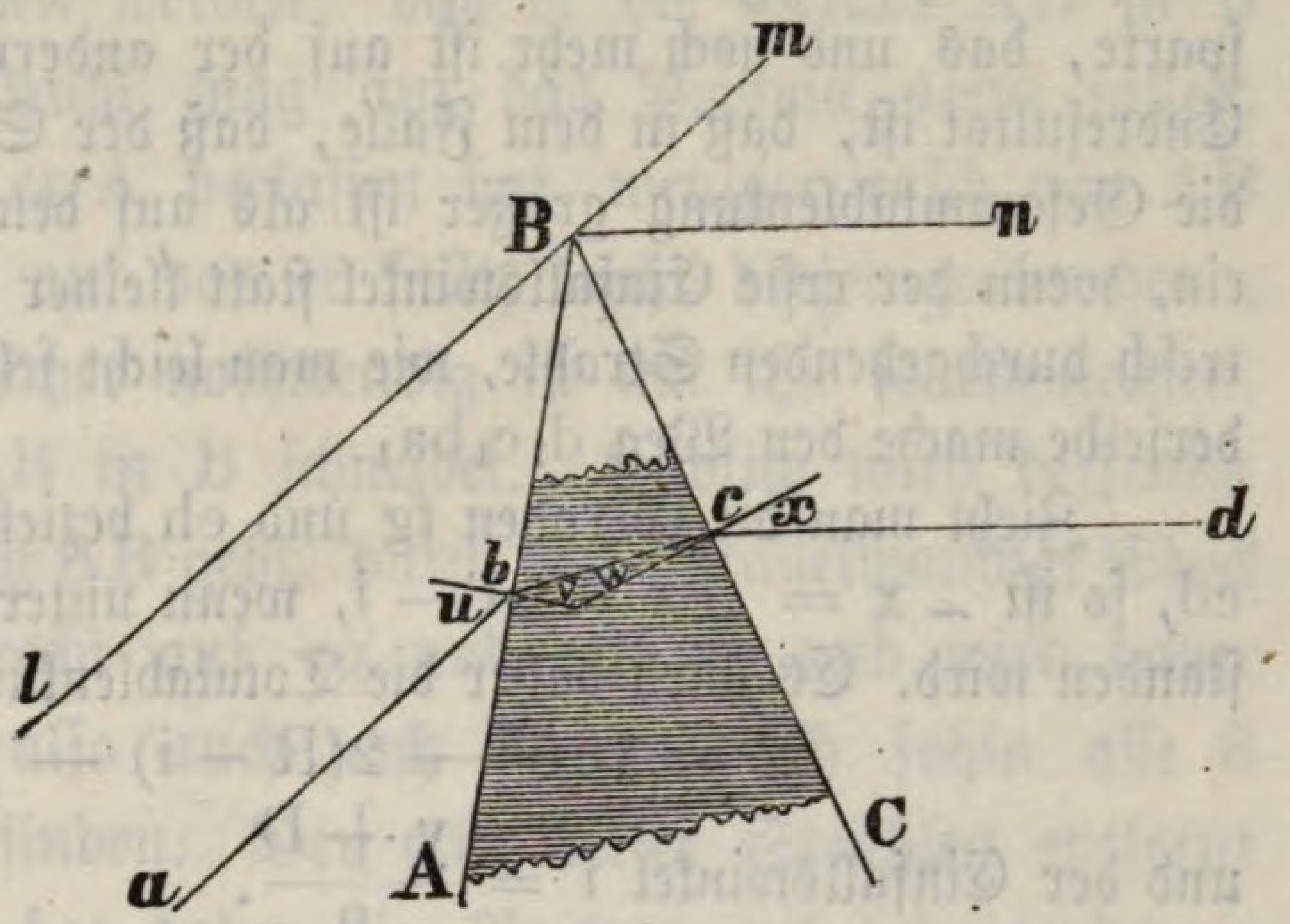


Fig. 166.

Die Nothwendigkeit, daß das Minimum der Ablenkung dann eintreten muß, wenn der Strahl das Prisma symmetrisch durchläuft, ergibt sich leicht aus Folgendem.

Ist abcd (Fig. 167) ein solcher Strahl, so wird er in b abgelenkt und diese Ablenkung möge $\frac{1}{2}$D heißen. In c kommt eine neue Ablenkung, welche der Symmetrie wegen eben so groß ist, und die Gesammtablenkung beträgt daher D. Wäre die Anfangs-Richtung nicht ab, sondern a_1b, so wäre der Einfallswinkel kleiner als im vorigen Falle und in Folge dessen auch der Brechungswinkel; dafür wären aber auch beide Winkel in c_1 größer.

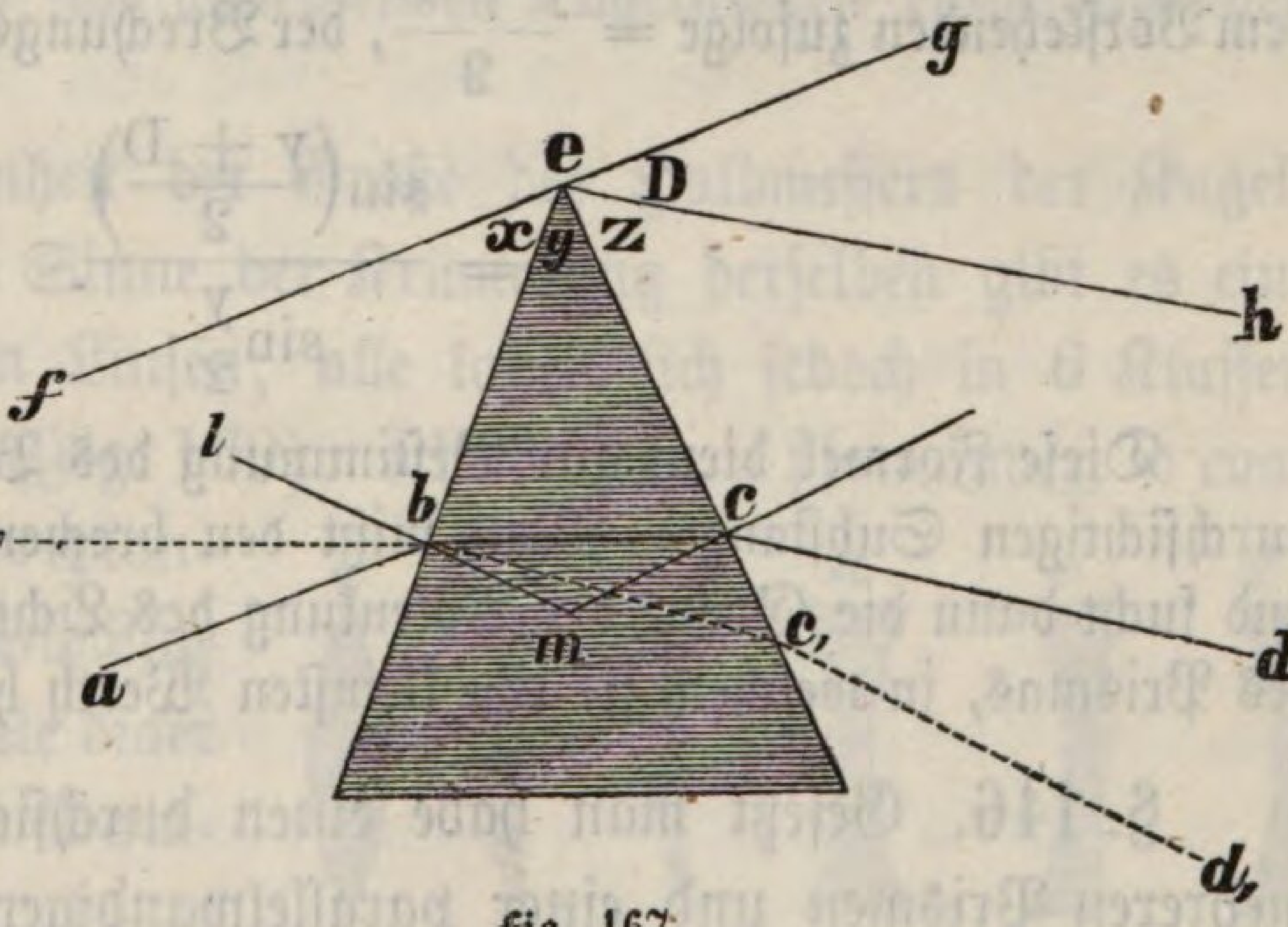


Fig. 167.

Die Summe der Winkel ebc und ecb ist der Summe der Winkel ebc_1 und ec_1b gleich (denn beide Summen machen mit dem Winkel bec 2 Rechte) und daher muß bei einer Abnahme des Brechungswinkels in b der Einfallswinkel in c_1 um ebensoviel wachsen als ersterer abnimmt, da die Richtungen der Einfallslothe in beiden Fällen dieselben sind. Wenn nun auf einer Seite der Einfallswinkel kleiner wird, so wird auch die Ablenkung kleiner, dafür wird aber der Einfallswinkel auf der andern Seite größer und die diesem größeren Einfallswinkel entsprechende Ablenkung ist nach §. 141 um mehr gewachsen

als sie vorher abgenommen hatte. Was man also auf der einen Seite ersparte, das und noch mehr ist auf der andern verloren gegangen und das Endresultat ist, daß in dem Falle, daß der Strahl den Weg abc_1d_1 macht, die Gesammtablenkung größer ist als auf dem Wege abcd. Dasselbe tritt ein, wenn der erste Einfallswinkel statt kleiner größer ist als bei dem symmetrisch durchgehenden Strahle, wie man leicht sehen kann, wenn man annimmt, derselbe mache den Weg $d_1c_1ba_1$.

Zieht man die Geraden fg und eh beziehungsweise parallel zu ab und cd, so ist $\angle x = \angle z = R - i$, wenn unter i der Einfallswinkel abl verstanden wird. Es wird daher die Totalablenkung

$$D = 180^0 - 2(R - i) - y = 2i - y$$

und der Einfallswinkel $i = \frac{y + D}{2}$.

Die Winkel ebm und ecm sind, wie aus der Construction der Fig. 167 hervorgeht Rechte, alle Winkel des Vierecks ebmc zusammen sind nach den Gesetzen der Geometrie 4 rechten Winkeln gleich, also ist $\angle bmc = 2R - y$. Es ist aber auch $\angle bmc + \angle cbm + \angle bcm = 2R$ und da $\angle cbm = \angle bcm$ und $\angle bmc = 2R - y$, so ist $\angle cbm = \frac{y}{2} = r$, wenn man mit r den Brechungswinkel bezeichnet.

Nach dem Brechungsgesetze (§. 141) hat man die Gleichung

$$\sin i = n \sin r \text{ oder } \frac{\sin i}{\sin r} = n.$$

Der Einfallswinkel des symmetrisch durch das Prisma gehenden Strahles ist dem Vorstehenden zufolge $= \frac{y + D}{2}$, der Brechungswinkel ist $= \frac{y}{2}$ und daher

$$n = \frac{\sin\left(\frac{y + D}{2}\right)}{\sin\frac{y}{2}}.$$

Diese Formel dient zur Bestimmung des Brechungscoëfficienten einer durchsichtigen Substanz. Man mißt den brechenden Winkel des Prismas und sucht dann die Größe der Ablenkung des Lichtes bei derjenigen Stellung des Prismas, in welchem sie den kleinsten Werth hat.

§. 146. Gesetzt man habe einen durchsichtigen Körper, der aus mehreren Prismen und einer parallelwandigen Platte besteht, wie ihn Fig. 168 vorstellt, und es befinde sich in A ein leuchtender Körper, so kann ein Strahl, der von diesem ausgehend auf das Prisma abc

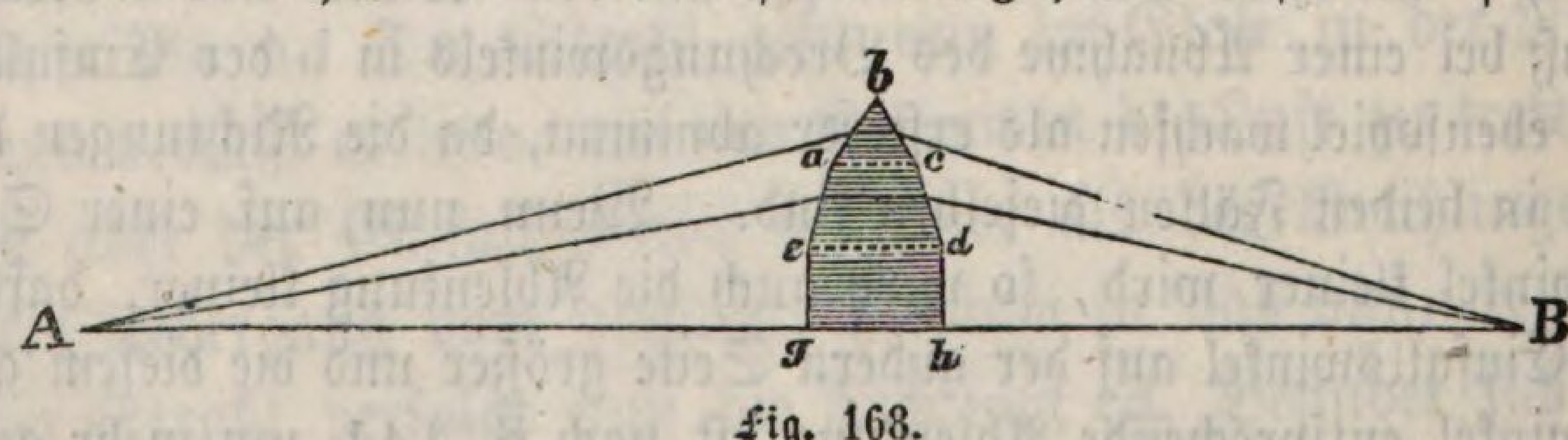


Fig. 168.

fällt, in diesem so gebrochen werden, daß er die Gerade AB in B schneidet. Ein anderer Strahl mag auf das Prisma aecd fallen. Dieser entfernt sich, sowie er A verlassen hat, weniger rasch von AB und es kann dem Prisma, auf das er fällt, leicht derjenige brechende Winkel gegeben werden, welcher nothwendig ist um ihn so abzulenken, daß auch er die Gerade AB in B schneidet. Endlich wird derjenige Strahl, der in der Richtung AB geht, durch das parallelwandige Stück edgh gehen; er fällt senkrecht auf eg und auf dh und wird daher gar nicht abgelenkt, geht also auch nach B, wo sich sohin alle 3 Strahlen wieder zusammenfinden. Der erste dieser Strahlen entfernt sich rasch von AB und er hat daher ein Prisma mit bedeutenderem brechenden Winkel nöthig als der zweite und dieser wieder einen bedeutenderen als der dritte. Es gehen jedoch von A nicht diese 3 Strahlen allein aus, es wird wegen der allseitigen Verbreitung des Lichtes zwischen b und g jeder einzelne Punct des durchsichtigen Körpers getroffen, und wenn alle diese Strahlen sich in B vereinigen sollen, muß jeder auf ein anderes Prisma mit einem andern brechenden Winkel fallen. Man erreicht diesen Zweck, wenn man statt der Geraden ba, ae, be u. s. w. Kreisbogen einführt, wodurch die Fig. 169 a entsteht und denkt man sich diese um AB als Axe herum gedreht, so erhält man einen von 2 sich schneidenden Kugelflächen eingeschlossenen Körper, eine Linse.

Je nach Verschiedenheit der Größe des Halbmessers der Kugelflächen und je nach dem Sinne der Krümmung derselben gibt es eine Menge der verschiedensten Linsen; alle lassen sich jedoch in 6 Klassen eintheilen. Diese heißen (Fig. 169): a biconvex, b planconvex, c convexconcav, d biconcav, e planconcav, f concavconvex. Die Linsen a—c sind in der Mitte dicker als am Rande und heißen Sammellinsen; die Linsen d—f sind in der Mitte dünner; am Rande dicker und führen den Namen Zerstreuungslinsen. Für die beiden Formen c und f gibt es auch die Bezeichnung Menisken.

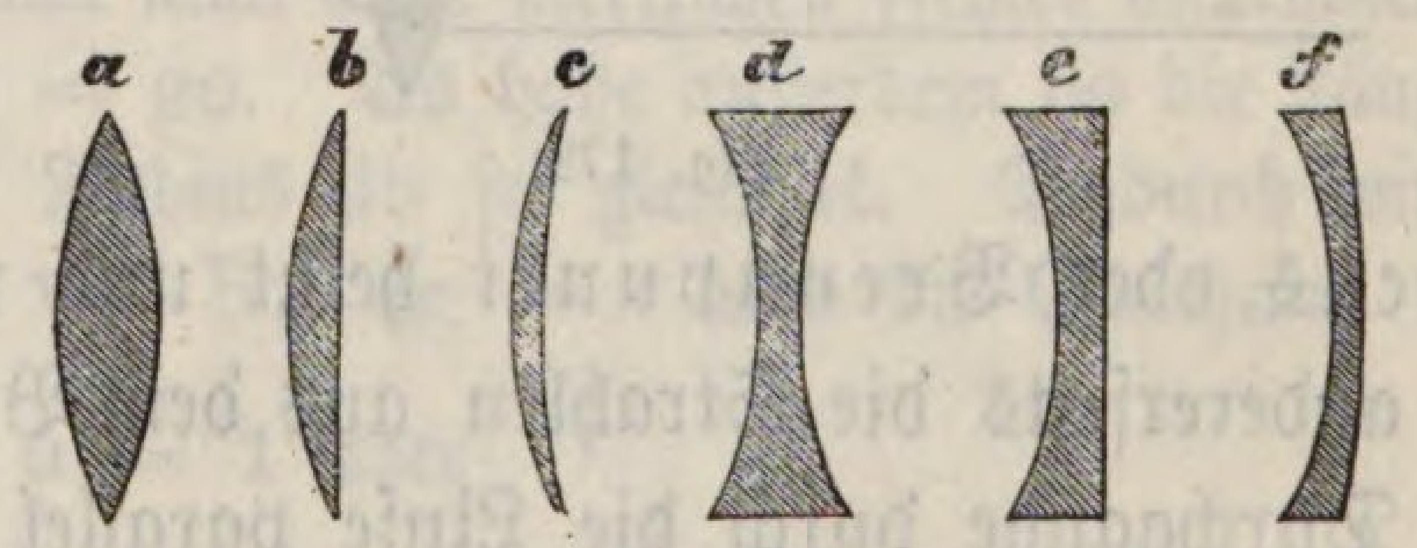


Fig. 169.

§. 147. Fallen (vorausgesetzt daß die Krümmung der Linse nur unbedeutend ist) die von dem leuchtenden Puncte A (Fig. 170) ausgehenden Strahlen auf eine Sammellinse, so werden sie von dieser gebrochen und sie schneiden sich nach der Brechung an einem Puncte

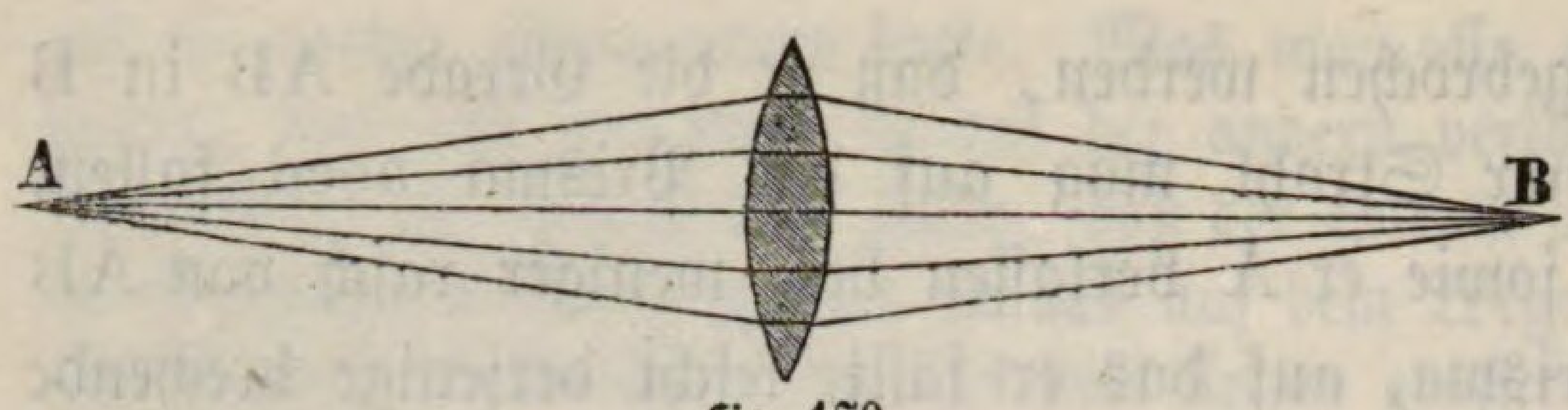


Fig. 170.

B hinter der Linse, wodurch in ganz analoger Weise wie bei den Hohlspiegeln ein Bild von A zum Vorschein kommt. Bei dem Hohlspiegel entsteht das Bild vor dem Spiegel, zwischen diesem und dem leuchtenden Puncte, bei der Sammellinse ist diese zwischen dem Lichte und dem Bilde, es befindet sich letzteres also bei den beiden Instrumenten auf der entgegengesetzten Seite, wie auch die Reflexion der Brechung oder Refraction entgegengesetzt ist.

Abgesehen von diesem Gegensatze ist das Verhalten von Hohlspiegel und Sammellinse ganz dasselbe. Rückt (Fig. 171) das Licht A

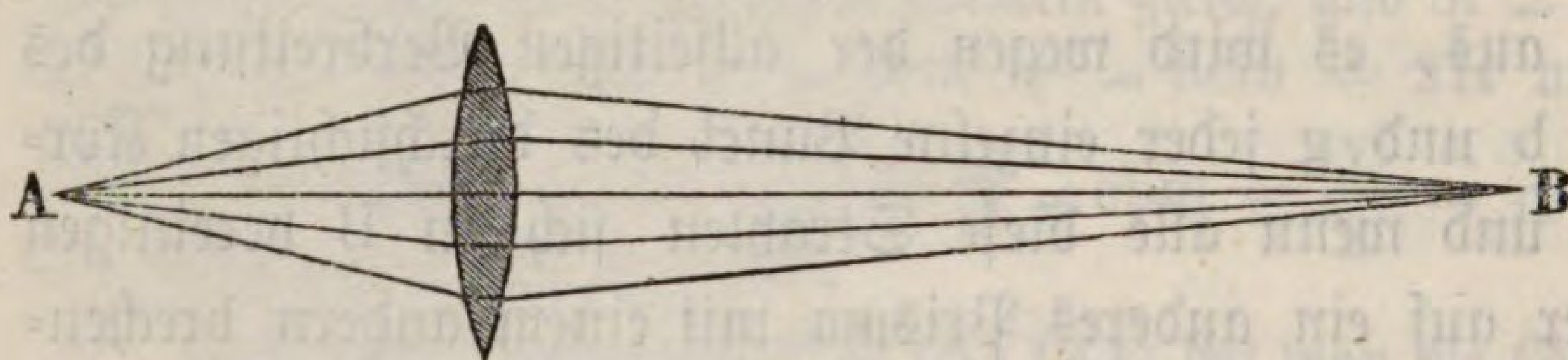


Fig. 171.

näher an die Linse hin, so sind die auf letztere fallenden Strahlen stärker divergent und es gelingt der Linse die Vereinigung erst in größerer Entfernung. Wird dagegen die Lichtquelle entfernt, so nähert sich der Vereinigungspunct. A und B sind correspondirende Puncte: ist das Licht in A, so fällt das Bild nach B, ist ersteres in B, so fällt letzteres auf A. Ist (Fig. 172) die Lichtquelle unendlich fern, so

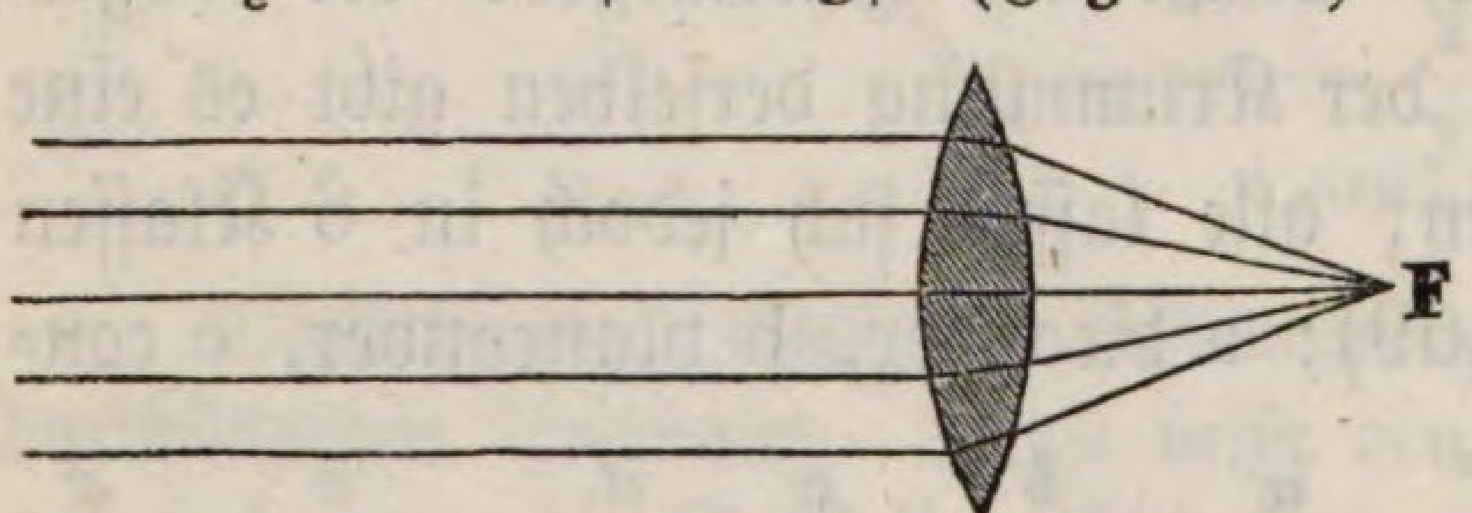


Fig. 172.

sind die auf die Linse fallenden Strahlen unter sich parallel und sie vereinigen sich dann an einem Puncte, der wie bei dem Hohlspiegel Focus oder Brennpunct heißt und mit F bezeichnet wird. Kommen andererseits die Strahlen aus dem Brennpuncte, so gehen sie nach dem Durchgange durch die Linse parallel fort, sie vereinigen sich also in unendlicher Entfernung. Gehen die Strahlen von einem Puncte A

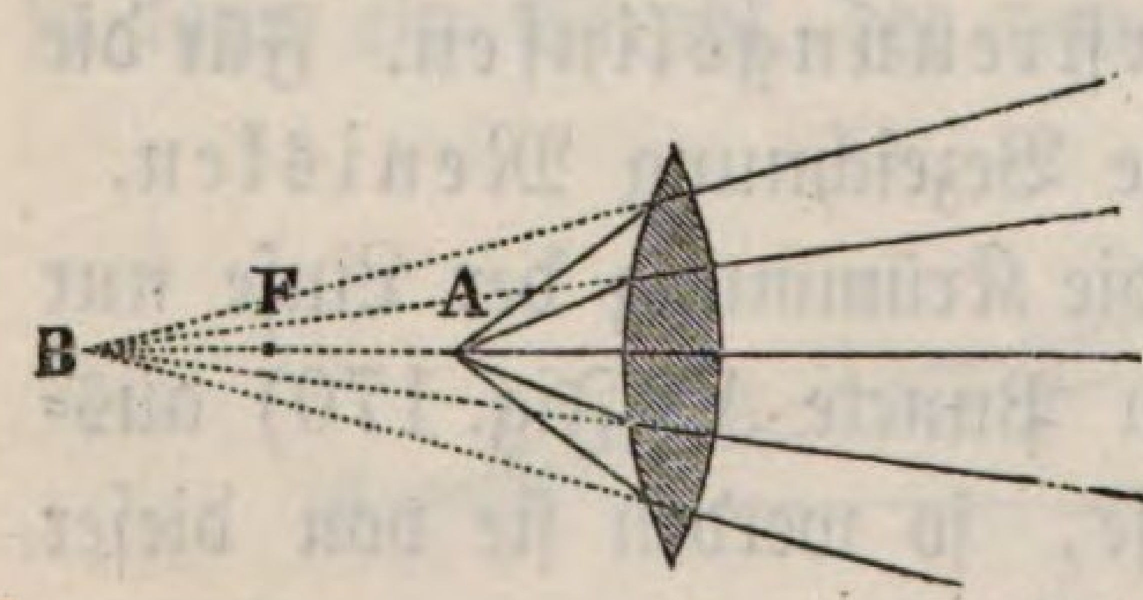


Fig. 173.

(Fig. 173) aus, der zwischen dem Focus und der Linse liegt, so vereinigen sie sich gar nicht mehr, sie divergiren auch nach dem Austritte aus der Linse, aber so, als kämen sie von dem der Linse ferner gelegenen Puncte B. Kommen

gegen den Punct B convergirende Strahlen auf die Linse, so vereinigen sie sich nach dem Durchgange bereits in A.

Es ist leicht, aus dem Vorstehenden durch Vergleichung dessen, was §. 135 von den Hohlspiegeln angeführt wurde, die Analogie der Sammellinsen mit diesen zu finden.

Es seien a und b (Fig. 174) die beiden Krümmungsmittelpuncte der ine Linse einschließenden Kugelflächen und c der Ort des leuchtenden Punctes.

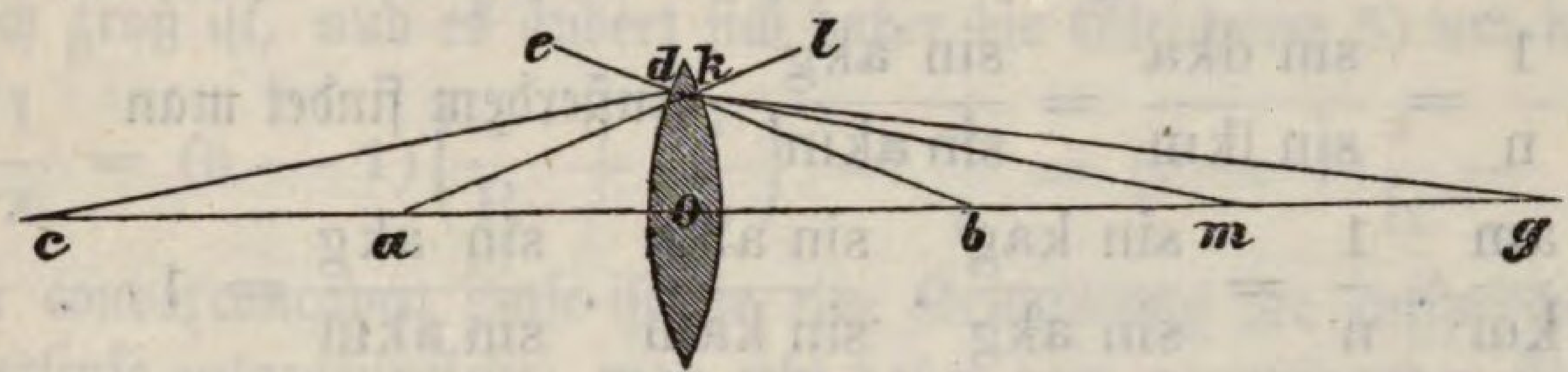


Fig. 174.

Von diesem Puncte aus gehen die Lichtstrahlen nach allen Richtungen fort und unter ihnen wollen wir zunächst denjenigen in Betracht ziehen, der die Linse in d trifft, also den Weg cd macht und dann so gebrochen wird, daß er die Richtung dg bekommt. Ist bd ein Radius der vordern Kugelfläche und seine Verlängerung de, so ist $\angle$ cde der Einfallswinkel. Bedeutet n den Brechungsexponenten für den Uebergang des Lichtes aus Luft in die Substanz der Linse, so hat man nach dem Brechungsgesetze

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{\sin cde}{\sin bdg} = \frac{\sin cdb}{\sin bdg}.$$

Es ist nun $\dfrac{cd}{cb} = \dfrac{\sin dbc}{\sin cdb}, \; \dfrac{bg}{dg} = \dfrac{\sin bdg}{\sin dbg}$ und

$$\frac{cd}{cb} \cdot \frac{bg}{dg} \cdot n = \frac{\sin dbc}{\sin cdb} \cdot \frac{\sin bdg}{\sin dbg} \cdot \frac{\sin cdb}{\sin bdg} = 1 \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Wenn die Krümmung der Linse nur gering ist, was dadurch erzielt wird, daß die Radien der beiden Kugelflächen sehr groß gemacht werden, wie wir hier voraussetzen wollen, so kann man ohne merklichen Fehler annehmen, daß cd = co, bd = bo und dg = go. Es habe außerdem co die Länge a, go habe die Länge v und der Radius db sei gleich R. Dadurch wird cd = a, cb = a + R, bg = v — R, dg = v und die Gleichung 1) ändert sich in $\dfrac{a}{a+R} \cdot \dfrac{v-R}{v} \cdot n = 1$ oder

$$v = \frac{aRn}{(n-1)a - R} \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Der Werth von v gibt diejenige Entfernung von der Linse an, in welcher der Strahl nach einmaliger Brechung die Axe cg schneiden würde, was eintreten müßte, wenn die Masse der Linse bis g reichen würde. In der Wirklichkeit ist dieses nicht der Fall, denn der Strahl geht nur bis k in der Linse fort, tritt dann wieder in die Luft und wird dabei zum zweitenmale gebrochen, worauf er die Axe cg schon in einem Puncte m schneidet, dessen Entfernung

von dem Mittelpuncte o der Linse nun bestimmt werden muß. Da die Dicke der Linse unbeträchtlich ist, wenn man sie mit den übrigen in der Rechnung vorkommenden Größen vergleicht, so kann man von derselben ohne merklichen Fehler absehen und die Puncte d und k als zusammenfallend betrachten. Es fällt aber der Lichtstrahl in k unter dem Winkel dka ein und dieser wird in den Winkel lkm umgeändert; der Brechungscoëfficient ist nunmehr $\frac{1}{n}$. Verfolgt man in der nunmehrigen Rechnung den früheren Gang, so ist

$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n} = \frac{\sin dka}{\sin lkm} = \frac{\sin akg}{\sin akm}$. Außerdem findet man

$$\frac{kg}{ag} \cdot \frac{am}{km} \cdot \frac{1}{n} = \frac{\sin kag}{\sin akg} \cdot \frac{\sin akm}{\sin kam} \cdot \frac{\sin akg}{\sin akm} = 1 \quad . \quad 3)$$

Setzt man nun ak = ao = r, km = mo = x, so wird kg = v, ag = v + r, am = x + r und die Gleichung 3) ändert sich in

$$\frac{v}{v+r} \cdot \frac{x+r}{x} \cdot \frac{1}{n} = 1 \text{ oder } -x = \frac{vr \cdot \frac{1}{n}}{\left(\frac{1}{n} - 1\right)v - r}$$

$$\text{und } \frac{1}{x} = \frac{n}{v} + \frac{n-1}{r} \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

Setzt man in die Gleichung 4) den Werth von v in 2), so erhält man

$$\frac{1}{x} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right) - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

In dem Falle, daß der leuchtende Punct a unendlich weit entfernt ist, wird $a = \infty$ und $\frac{1}{a} = 0$. Dann schneidet der Strahl die Axe in dem Brennpuncte, dessen Entfernung von der Linse wir mit f bezeichnen wollen. Es wird daher: $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ und wenn man diesen Werth in 5) einführt, so wird

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

Diese letztere Gleichung ist der in §. 135 für die Hohlspiegel gefundenen conform; auch hier kommt die Entfernung des getroffenen Linsenpunctes von der Axe nicht vor und die Gleichung gilt daher für alle Entfernungen. Alle Strahlen, die von c ausgehend auf die Linse fallen, müssen sich daher in m schneiden.

Die Gleichungen 5) und 6) lassen sich in derselben Weise behandeln wie die Hohlspiegelgleichung in §. 135. Man kann mit ihrer Hülfe die jeder Größe von a entsprechende Entfernung des Vereinigungspunctes der Strahlen berechnen und wird, je nachdem man den Werth von a annimmt, zu den im Vorstehenden angegebenen Resultaten gelangen. Was die Abhängigkeit der Brennweite von der Krümmung der Linse anbelangt, so zeigt die Gleichung

5), daß die Vereinigung der Strahlen um so früher stattfindet, je bedeutender die Größe $\frac{1}{R} + \frac{1}{r}$ wird, je kleiner also die Krümmungshalbmesser der Linse sind.

Die Gleichungen 5) und 6) sind zunächst aus der biconvexen Linse abgeleitet; doch können sie auch auf die übrigen Formen angewandt werden. Nehmen wir zunächst die planconvexe Linse, so ist die eine Seite derselben eben. Eine Ebene läßt sich als das Stück einer Kugel ansehen, deren Radius unendlich groß ist, und es ändert sich daher die Gleichung 5) um in

$$\frac{1}{x} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\infty}\right) - \frac{1}{a} = (n-1)\frac{1}{R} - \frac{1}{a}.$$

Bei der convexconcaven Linse ist die eine Krümmung der entsprechenden der Biconvexlinse entgegengesetzt; man gibt daher dem zugehörenden Radius das entgegengesetzte Vorzeichen und die Gleichung 5) wird:

$$\frac{1}{x} = (n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) - \frac{1}{a}.$$

So lange $\frac{1}{R} - \frac{1}{r} > 0$, so lange also $r > R$ ist, so lange erhält man einen positiven Werth für f und die Linse bleibt eine Sammellinse. Wird jedoch $r < R$, so ist die hintere Krümmung stärker als die vordere, die Linse wird dadurch in der Mitte dünner als am Rande und wird zum concavconvexen Meniskus. Sind beide Radien unendlich groß, wird also die Linse zum Planglase, so ist

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{\infty} + \frac{1}{\infty}\right) \text{ oder } f = \infty.$$

Dasselbe muß eintreten, wenn bei der convexconcaven Linse beide Radien gleich sind, denn in diesem Falle wird

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) = 0 \text{ oder } f = \infty.$$

§. 148. Wenn das leuchtende Object nicht ein Punct ist, sondern eine gewisse Ausdehnung hat, so treten bei den Sammellinsen dieselben Erscheinungen ein, welche, wie in §. 136 gezeigt wurde, die Hohlspiegel bieten. Wenn die von A (Fig. 175) ausgehenden Strahlen sich nach dem Durchgang durch die Linse in dem Puncte a sammeln, so kann

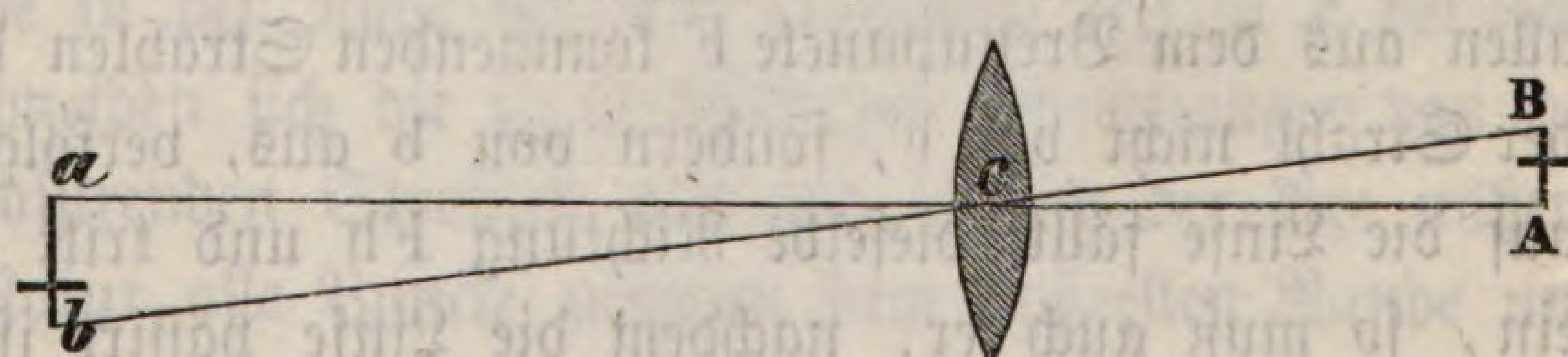


Fig. 175.

man für einen andern Punct B durch diesen und den Mittelpunct der Linse eine neue Axe ziehen und (immer vorausgesetzt, daß die Krümmung der Linse nur eine sehr unbeträchtliche sei) so wird für die aus

B entspringenden Strahlen die Axe bB dasselbe sein, was aA für die von A ausgehenden ist; sie sammeln sich also in b und da für die zwischen A und B befindlichen leuchtenden Puncte dasselbe gilt, so entsteht in ab ein verkehrtes Bild von AB, oder (wenn ab das leuchtende Object ist) es kommt das verkehrte Bild in AB zum Vorschein.

Das Größenverhältniß von Licht und Bild hängt von der Entfernung beider von der Linse ab: die Dreiecke abc und ABc sind sich ähnlich und es verhält sich daher AB : ab = Ac : ac.

Wenn die Strahlen die Linse symmetrisch durchlaufen, wenn also Licht und Bild gleich weit von dieser entfernt sind, so haben sie auch gleiche Größe. Je weiter der leuchtende Gegenstand entfernt ist, um so näher wird das Bild an die Linse rücken, um so kleiner wird es sein, und umgekehrt.

§. 149. Befindet sich ein leuchtender Gegenstand ab (Fig. 176) zwischen der Linse und ihrem Brennpuncte F, so divergiren die Strahlen noch, nachdem sie die Linse durchdrungen haben und es kann daher kein Bild mehr zum Vorschein kommen. Ein von a senkrecht auf die Linse fallender Strahl geht ungebrochen durch, ein anderer, welcher von a nach d geht, wird so gebrochen,

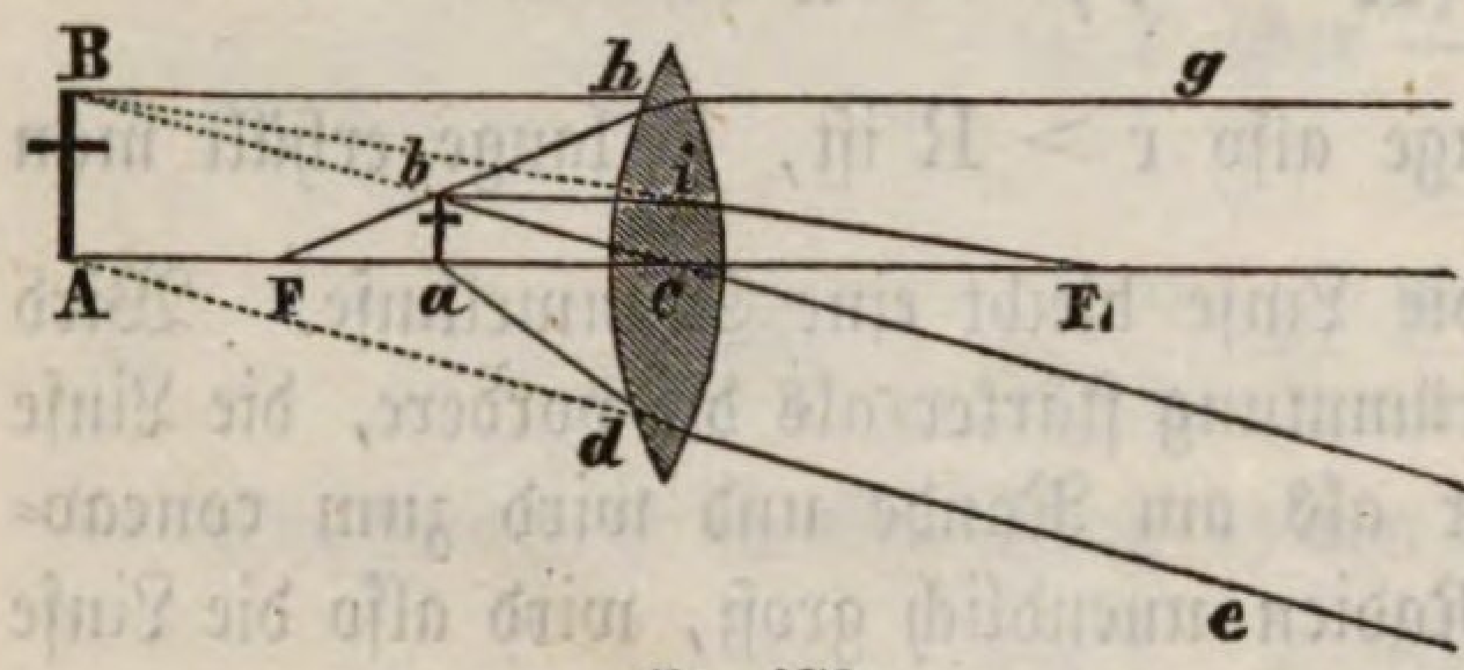


Fig. 176.

daß er nach dem Austritte aus der Linse nach e kommt. Diese beiden Strahlen divergiren also gerade so, als kämen sie von einem Puncte A her und ein Auge, in welches sie fallen, sieht also a in A, denn wäre die Linse nicht vorhanden und in A wirklich ein leuchtender Punct, so wäre die nunmehrige Divergenz der Strahlen genau dieselbe. Für den leuchtenden Punct b kann man den Weg der Strahlen in folgender Weise finden. Ein Strahl geht durch die Mitte der Linse ungebrochen hindurch. Zieht man die Gerade Fbh, so weiß man, daß ein von F nach h gehender Strahl nach dem Durchgange durch die Linse parallel mit der Geraden FF_1 fortschreiten würde, da dieses bei allen aus dem Brennpuncte F kommenden Strahlen der Fall ist. Geht der Strahl nicht von F, sondern von b aus, verfolgt er aber, ehe er auf die Linse fällt, dieselbe Richtung Fh und tritt er ebenfalls in h ein, so muß auch er, nachdem die Linse passirt ist, nach g gehen. Außerdem ist bekannt, daß alle Strahlen, die parallel mit der Axe der Linse auffallen, sich in deren Brennpunct vereinigen. Jede Linse muß aber 2 Brennpuncte haben, die in gleicher Entfernung von derselben diesseits und jenseits liegen. Es ist also F_1 der zweite Brenn-

punct und ein Strahl, der von b aus parallel mit der Axe FF_1 nach i geht, muß daher nach F_1 gebrochen werden. Verfolgt man nun diese 3 Strahlen bc, hg und bi nach rückwärts, so schneiden sie sich in B und dorthin verlegt das Auge, in das sie fallen, den Punct b.

Man sieht also einen zwischen Linse und Focus befindlichen Gegenstand ab aufrecht und vergrößert, wie dieses unter denselben Verhältnissen auch bei dem Hohlspiegel der Fall ist.

§. 150. Wie bei den Spiegeln gibt es auch bei den Linsen eine Oeffnung (vergl. §. 134); doch kann man als solche nicht den Winkel annehmen, unter dem die Linse von dem Krümmungsmittelpuncte aus erscheint, da man bei ihr mit 2 solchen Mittelpuncten zu thun hat, die verschieden weit von ihr entfernt sein können. Bei der Linse gilt als Oeffnung derjenige Winkel, unter dem sie von einem Brennpuncte aus erscheint. Welcher von den beiden Brennpuncten genommen werde, ist gleichgültig, da die Entfernung beider die nämliche ist.

Die in den vorstehenden Paragraphen angegebenen Erscheinungen treten nur dann rein auf, wenn die Oeffnung der Linse gering ist; bei nur etwas beträchtlicher Oeffnung zeigen die Linsen wie die Spiegel den Fehler der sphärischen Aberration, die daher kommt, daß nicht mehr sämmtliche von einem Puncte ausgehende Strahlen sich wieder in einem Puncte sammeln. So kreuzen (Fig. 177) die Randstrahlen die Axe bereits in a, während dieses bei den Centralstrahlen,

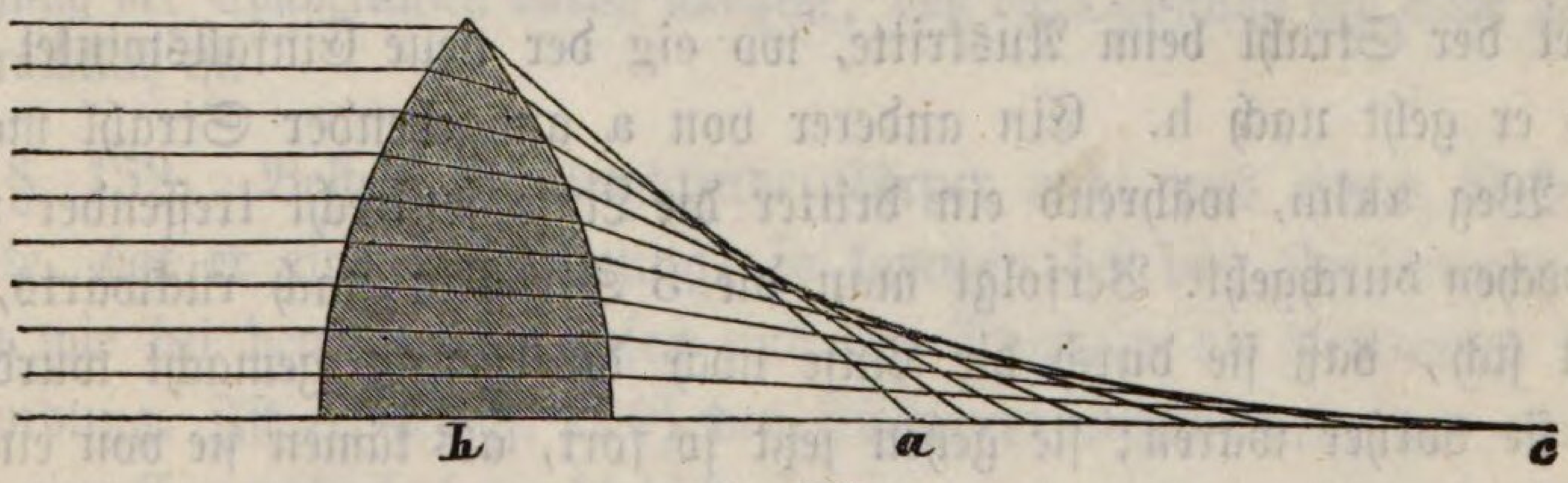


Fig. 177.

denjenigen, welche in der Nähe der Axe auffallen, erst in c der Fall ist. Auch hier schneiden sich die in verschiedenen Entfernungen von der Axe die Linse passirenden Strahlen während sie sich der Axe nähern und da in der Natur alle Puncte zwischen dem äußersten Rande und der Mitte der Linse von Strahlen passirt werden, also alle Strahlen vertreten sind, so folgen auch die Durchschnittspuncte der letzteren continuirlich aufeinander. Dadurch entsteht wie bei den Spiegeln eine Brennlinie, die Diacaustica.

Man sieht die Brennlinien sehr häufig; sie sind die Begränzungen der leuchtenden Flächen, die man hinter Flaschen und Gläsern, welche mit einer durchsichtigen Flüssigkeit gefüllt sind, wahrnimmt, wenn dieselben in das Sonnenlicht gestellt werden. Der Querschnitt der Flasche ist der einer Linse von sehr großer Oeffnung und daher ist ihre optische Wirkung der Linsenwirkung analog.

Bei Linsen von bedeutender Oeffnung können die in der Rechnung (§. 147) als gleich angenommenen Größen cd und co, dg und do u. s. w. nicht mehr ohne merklichen Fehler einander gleich gesetzt werden und es führt die Annahme der Gleichheit auf ein unrichtiges Resultat.

§. 151. Wie die Convexlinse ihr Analogon im Hohlspiegel findet, so hat die Concavlinse das ihrige im Convexspiegel. Ist a (Fig. 178) ein auf der Axe befindlicher leuchtender Punct, so gehen von ihm aus Strahlen nach jedem Puncte der zugewandten Linsenseite; von ihnen sollen hier ein paar als Repräsentanten betrachtet werden.

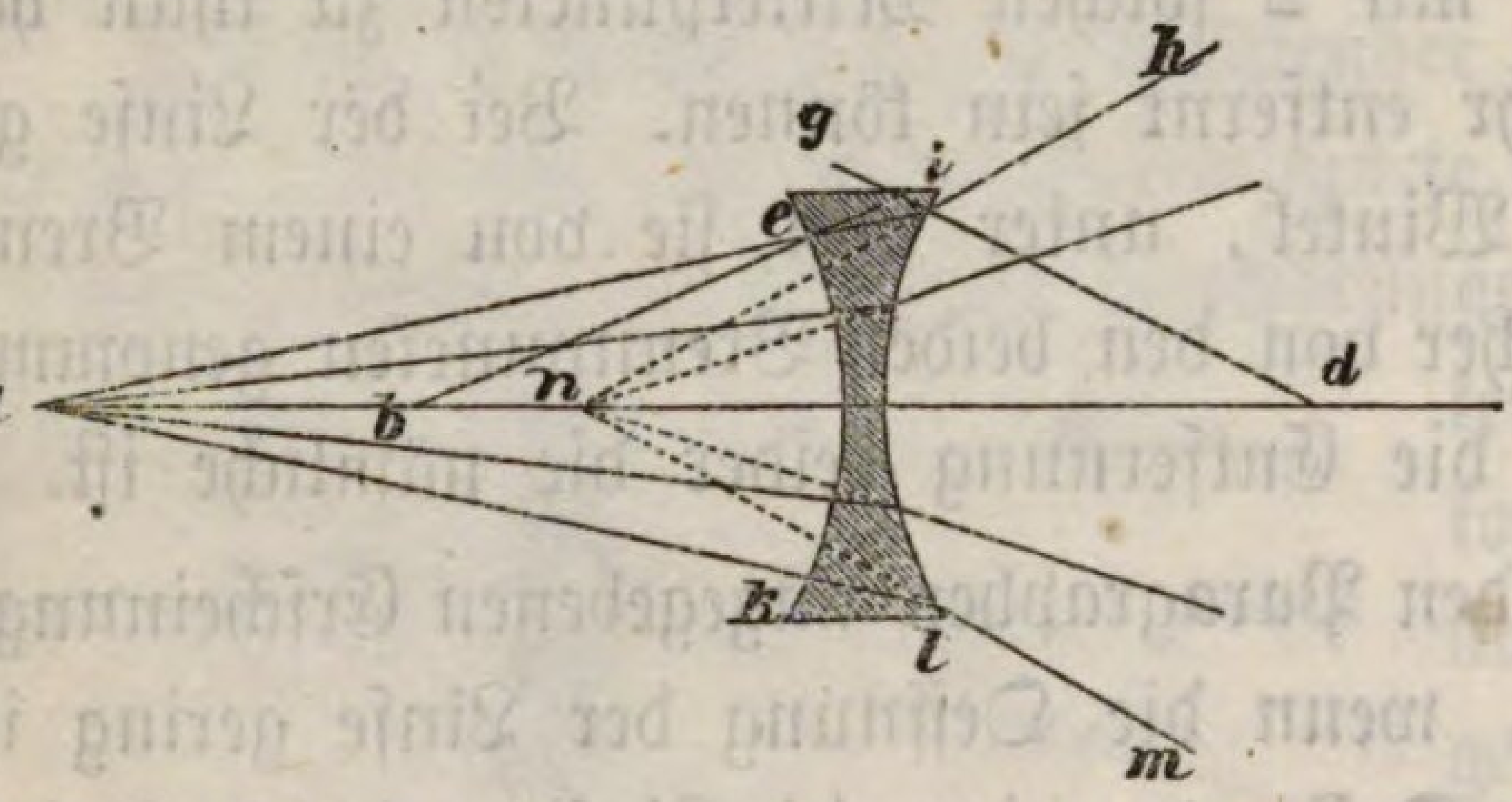


Fig. 178.

Der Strahl, welcher von a nach e geht, trifft dort die Linse unter dem Einfallswinkel aeb, den man erhält, wenn man von dem Krümmungsmittelpuncte b eine Gerade an den getroffenen Punct zieht und wird dort zum Einfallslothe gebrochen. Eine zweite Brechung erleidet der Strahl beim Austritte, wo eig der neue Einfallswinkel ist, und er geht nach h. Ein anderer von a ausgehender Strahl macht den Weg aklm, während ein dritter die Linse senkrecht treffender ungebrochen durchgeht. Verfolgt man die 3 Strahlen nach rückwärts, so zeigt sich, daß sie durch die Linse noch divergenter gemacht wurden, als sie vorher waren; sie gehen jetzt so fort, als kämen sie von einem der Linse näheren Puncte n. Ist der Punct a weiter von der Linse entfernt, so wird die Folge sein, daß die die letztere treffenden Strahlen weniger divergent sind und auch weniger divergent austreten, weßhalb auch der scheinbare Ausgangspunct n weiter von der Linse wegrückt. Ist (Fig. 179) der Abstand von a unendlich groß, so sind die auf die Linse fallenden Strahlen unter sich parallel und sie scheinen nach dem Durchgange von einem Puncte F herzukommen, der einige Analogie mit dem Brennpuncte der Sammellinsen zeigt, weßwegen er auch den Namen virtueller Brennpunct erhalten hat.

Die Vergleichung der beiden Figuren 172 und 179 zeigt sehr leicht den Unterschied zwischen wahrem und virtuellem Brennpuncte. Wenn parallele Strahlen auf eine Sammellinse fallen, so vereinigen sie sich in einem Puncte hinter der Linse, dem wahren Brennpuncte; wenn sie aber auf eine Zerstreuungslinse fallen, so divergiren sie nach dem Durchgange so, als kämen sie von dem virtuellen Brennpuncte her, in dem sie jedoch nie gewesen sind. Divergirende aus dem Brennpuncte der Sammellinse kommende und auf diese fallende Strahlen werden von derselben parallel gemacht, während auf der Zerstreuungslinse gegen den virtuellen Brennpunct gehende convergirende Strahlen parallel werden.

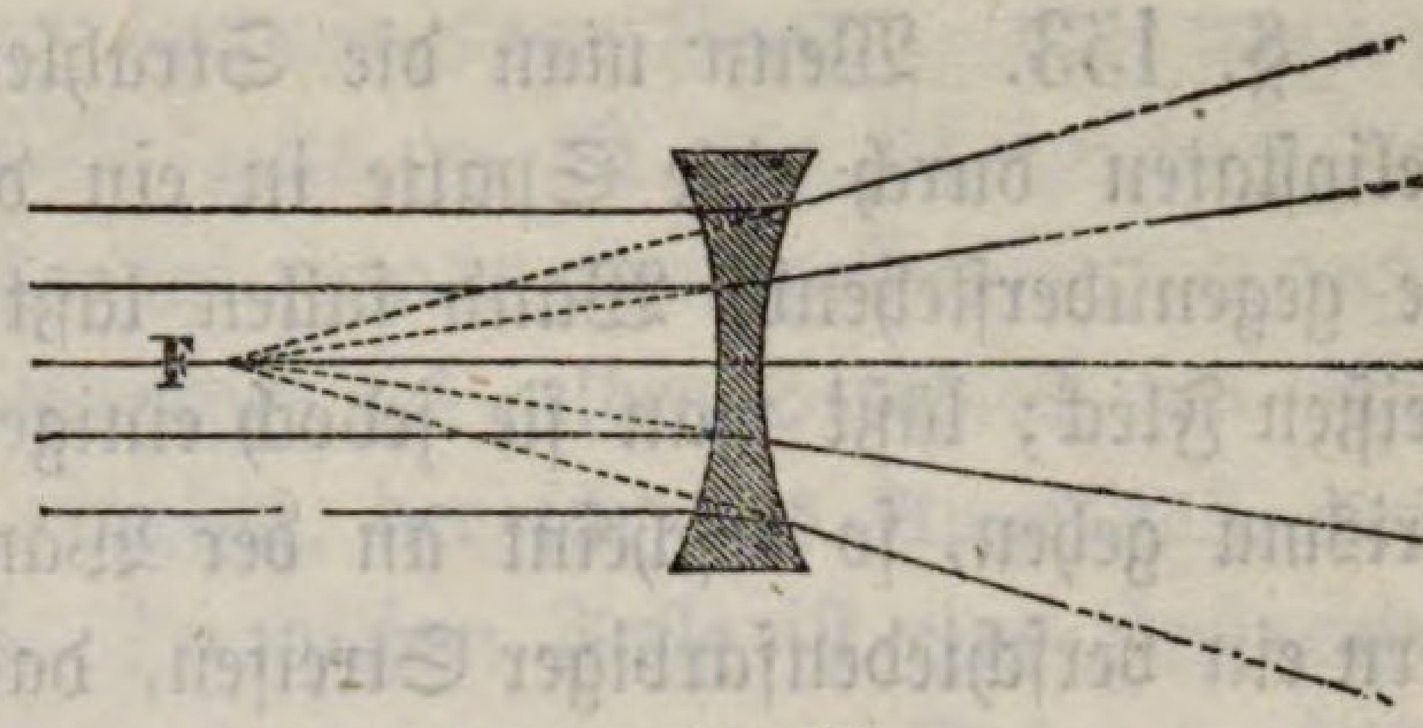


Fig. 179.

Zur Berechnung des virtuellen Vereinigungspunctes der Strahlen bei Concavlinsen dienen die nämlichen Gleichungen (5 und 6 §. 147), die dort für die Sammellinsen aufgestellt wurden. Man hat nur in 5) den Größen R und r das Zeichen — vorauszusetzen, weil die mit diesen Halbmessern gezogenen Kugelflächen die der früheren entgegengesetzte Krümmung haben. Dadurch erhält die Größe $\frac{1}{x}$ einen negativen Werth, der anzeigt, daß der Vereinigungspunct auf der entgegengesetzten Seite der Linse aufgesucht werden muß. Man braucht wohl kaum darauf aufmerksam zu machen, daß auch die Gleichung der Convexlinsen davon ausgeht, daß die Oeffnung der Linse nur unbeträchtlich ist.

§. 152. Besteht der leuchtende Körper nicht aus einem bloßen Puncte, hat er eine Ausdehnung, so kommen bei den Zerstreuungslinsen wie bei den Sammellinsen und den Spiegeln die Nebenaxen in Anwendung. Ist AB (Fig. 180) der leuchtende Gegenstand, den man durch eine Concavlinse betrachtet, so scheint A nach a zu rücken, d. h. die von ihm ausgehenden Strahlen divergiren nach dem Durchgange durch die Linse gerade so, wie die eines direct gesehenen in a befindlichen Punctes A. Dasselbe gilt für B und b auf der Axe bc, und man sieht daher den Gegenstand AB in ab und verkleinert.



Fig. 180.

§. 153. Wenn man die Strahlen der Sonne mit Hülfe eines Heliostaten durch eine Spalte in ein dunkles Zimmer leitet und auf die gegenüberstehende Wand fallen läßt, so gewahrt man dort einen weißen Fleck; läßt man sie jedoch einige Fuß vor der Wand durch ein Prisma gehen, so erscheint an der Wand nicht ein weißer Fleck, sondern ein verschiedenfarbiger Streifen, das sogenannte Spectrum. Auf der Seite, auf welcher sich die brechende Kante des Prismas befindet, welche wir als der Spalte parallel annehmen wollen, ist der Streifen roth, worauf er orange, gelb, grün, blau und endlich violett wird. Man nennt diese Erscheinung die Zerstreuung oder Dispersion der Farben. Es sind jedoch diese Farben nicht von einander gesondert, sondern sie gehen so unvermerkt und allmählig in einander über, daß man niemals die Gränze angeben kann, wo die eine Farbe aufhört, die andere anfangt, alles ist Uebergang, und indem man die einzelnen Uebergänge als besondere Farben betrachtet, kann man sich das Spectrum aus beliebig vielen Farben zusammengesetzt denken. Eine sehr gewöhnliche Annahme ist die, daß man das Blau in 2 Theile, Hellblau und Indigo trennt, wodurch sich die oben angegebene Zahl 6 auf 7, die sogenannten Regenbogenfarben erhöht. Oft begnügt man sich auch mit 3, den sogenannten Hauptfarben, Roth, Gelb und Blau, und nimmt dann Orange, Grün und Violett als Mischfarben je zweier der Hauptfarben an.

Ist a (Fig. 181) eine schmale Spalte, durch welche das Licht in das Zimmer eintritt, A das Prisma, dessen brechende Kante der Spalte parallel ist, so wird r(oth) . . . . v(iolett) auf einem gegenüberliegenden Schirme e das Spectrum bilden. Man sieht, daß die Strahlen aller Farben von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt sind,

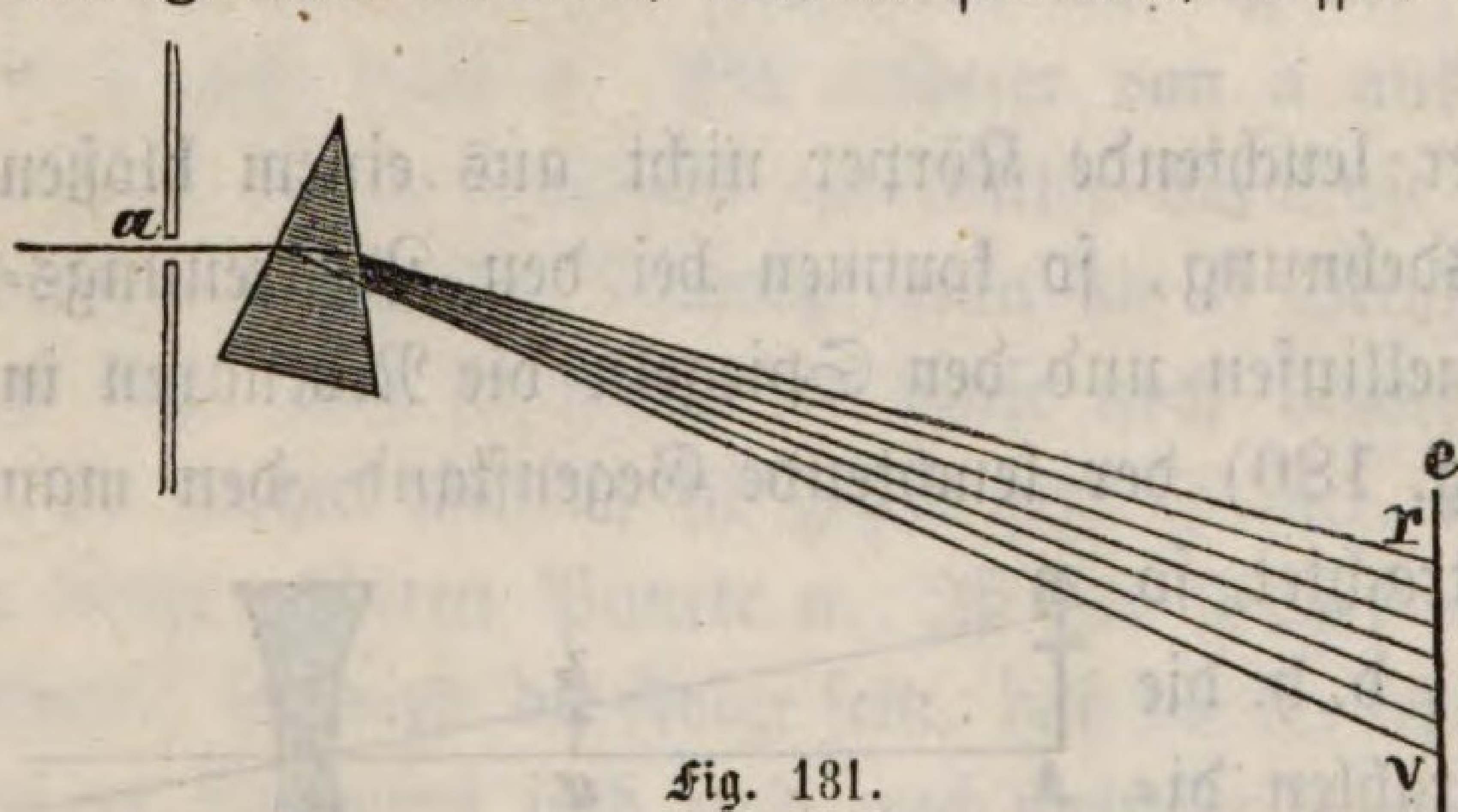


Fig. 181.

allein diese Ablenkung ist bei den einzelnen Farben verschieden, denn die rothe Farbe ist am wenigsten, die violette am meisten gebrochen. Befindet sich in dem Schirme e zwischen r und v wieder ein Spalt, so werden die Strahlen der betreffenden Farbe durch denselben hindurchgehen und man kann mit Hülfe eines zweiten Prismas untersuchen, ob diese Farbe sich wieder in andere trennen lasse. Der Versuch

zeigt, daß eine weitere Zerlegung der einzelnen Farben nicht möglich ist. Der grüne Strahl z. B. bleibt grün, er ist nach Newtons Bezeichnung homogen und zerfällt nicht etwa in einen gelben und blauen. Es ist aber möglich, durch Verbindung eines gelben Strahles und eines blauen einen Gesammteffect zu erzielen, der für das Auge nahe derselbe ist wie das einfache Grün. In diesem Falle ist eine Zerlegung des nunmehr aus einer Mischung hervorgegangenen Grün in seine Bestandtheile möglich.

Das Sonnenlicht ist weiß und wie das Sonnenlicht kann man jede weiße Farbe in die prismatischen zerlegen.

Wenn das weiße Licht aus den prismatischen Farben zusammengesetzt ist und sich mit Hülfe des Prismas zerlegen läßt, so muß es möglich sein, durch Vereinigung der Farben wieder Weiß hervorzubringen. In der That gelingt dieser Versuch, wenn man die aus dem Prisma kommenden Strahlen mit Hülfe einer Sammellinse auffängt. Diese vereinigt die Strahlen und an der Vereinigungsstelle hat man wieder Weiß. Ist (Fig. 182) P das zerlegende Prisma und sind r und v die auf die Linse L fallenden extremen Strahlen, so findet an

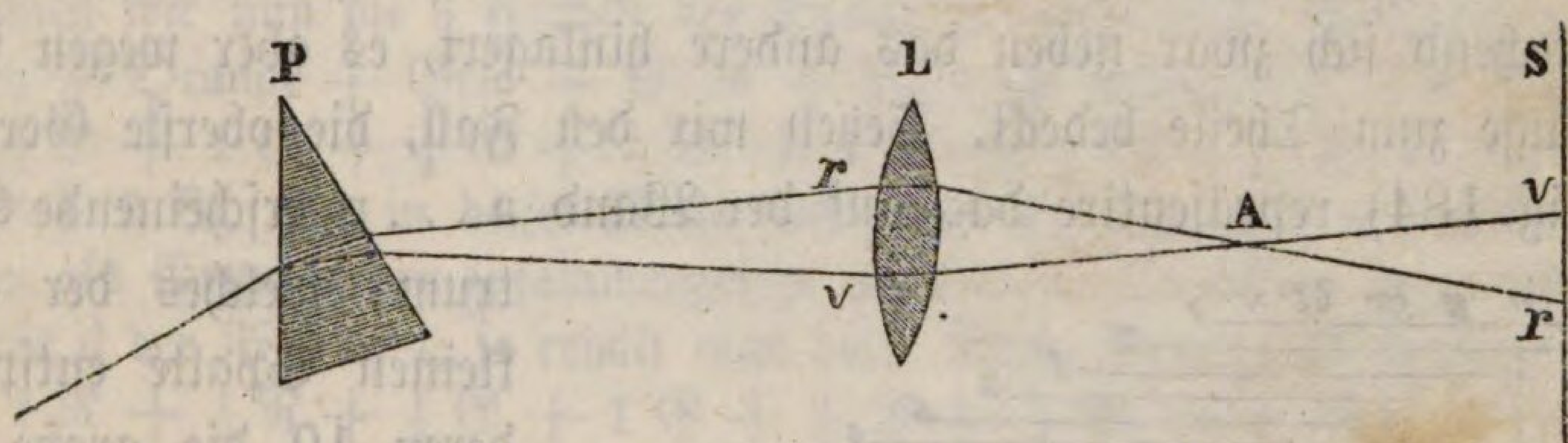


Fig. 182.

dem Puncte A eine Vereinigung statt und ein dort angebrachter Schirm zeigt Weiß; wenn man aber den Schirm nach S bringt, so geht jeder Strahl nach dem Durchgange durch den Kreuzungspunct A in der ihm durch die Linse angewiesenen Richtung weiter und in S hat man wieder ein Spectrum, bei dem jedoch die Farben sich in umgekehrter Ordnung folgen.

Betrachtet man einen in der Richtung a (Fig. 183) auf schwarzem Grunde befindlichen schmalen weißen Streifen durch ein Prisma, indem man das Auge in o hat, so wird ein von dem Streifen ausgehender Strahl in dem Prisma in andere Strahlen von verschiedener Farbe zerlegt, das Roth wird am wenigsten, das Violett am meisten gebrochen. Das Auge

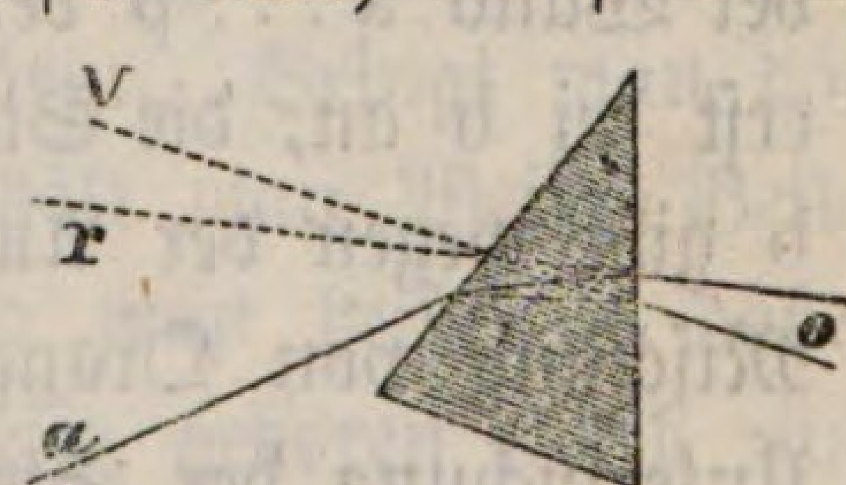


Fig. 183.

empfindet alle diese Farben, verlegt den gesehenen Gegenstand nach derjenigen Richtung, aus welcher die Strahlen herkommen und sieht daher den Streifen viel breiter als dieses ohne Anwendung des Prismas der Fall gewesen wäre, es sieht ihn farbig, in der Richtung r also unten roth, oben, in der Richtung v violett.

Man kann Weiß sehen, wenn man das durch ein Prisma hervorgerufene Spectrum durch ein anderes, analoges aber umgekehrt gerichtetes Prisma betrachtet.

Nimmt man statt der engen Spalte, durch welche das Licht in das dunkle Zimmer dringen kann, eine breite, so erhält man nicht mehr ein bloß farbiges Spectrum, sondern ein solches, welches in der Mitte weiß ist und nur an seinen Rändern farbige Säume zeigt. Derjenige Saum, der der brechenden Kante zunächst liegt, beginnt roth und geht durch Gelb in Weiß über, während der Saum der abgewandten Seite innen bläulich beginnt und mit Violett endet. Man kann sich einen breiten Spalt als aus einer größeren Menge schmaler neben einander liegender zusammengesetzt denken, von denen jeder vermittelst des Prismas ein Spectrum geben wird, deren jedes aber seinem Spalte entsprechend sich zwar neben das andere hinlagert, es aber wegen seiner Länge zum Theile bedeckt. Setzen wir den Fall, die oberste Gerade 1 (Fig. 184) repräsentire das auf der Wand a . . . p erscheinende Spectrum, welches der ersten kleinen Spalte entspricht, deren 10 die große ausmachen, und die Farben, von denen wir nur 6 annehmen wollen, haben alle gleiche Dimensionen, so

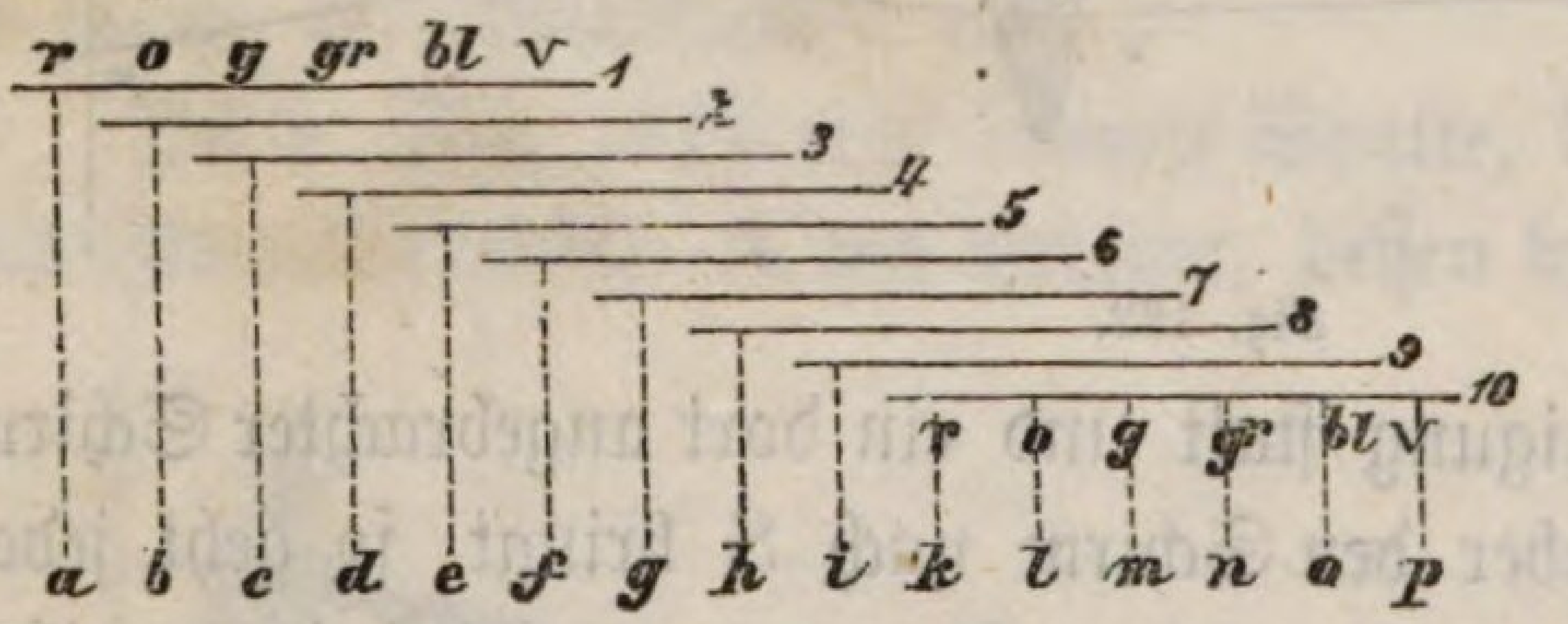


Fig. 184.

wird in den einzelnen Abtheilungen r, o, g . . . Roth, Orange, Gelb . . . zu finden sein. Das Spectrum der kleinen Spalte 2 ist durch die Horizontallinie 2 vorgestellt, in ihr ist Folge und Ausdehnung der einzelnen Farben die gleiche, aber während das erste Spectrum auf der Wand a . . . p bereits bei der Strecke a beginnt, fangt das zweite erst bei b an, die Stelle a auf der Wand zeigt ein reines Roth, aber b gibt wegen der Aufeinanderlagerung der beiden Spectra nur eine Mischung von Orange (1) und Roth (2). Ebenso findet man bei Untersuchung der Stelle c eine Mischung von Gelb (1), Orange (2) und Roth (3), deren Gesammteffect Orange sein wird. Dieses Orange

der breiten Spalte unterscheidet sich von dem der schmalen Spalte (Fig. 181) dadurch, daß es aus 3 Farben zusammengesetzt ist und sich auch durch ein Prisma in seine Bestandtheile trennen läßt, während das Orange in Fig. 181 als einfache nicht weiter zerlegbare Farbe betrachtet werden muß. Auf der Strecke d kommt zu den vorhergehenden Farben noch Grün und in f lagern sich alle 6 Spectralfarben übereinander, weßhalb diese Stelle weiß erscheinen muß, da Weiß die Summe aller Farben ist. Von nun an bis k beobachtet man die weiße Farbe, dann kommen wieder Farbenmischungen und endlich in p hat man einfaches Violett.

Um die Eindrücke, die das Auge von einem Gemische von Farben erhält, bestimmen zu können, möge (allerdings unter Nichtberücksichtigung einiger speciellen Fälle) Folgendes gelten. Zwar ist Weiß die Summe aller einfachen Farben, und eine Farbe wie z. B. Grün, ist bei der Untersuchung mit dem Prisma von allen andern Farben verschieden; aber für das Auge erhält man den Eindruck Grün, wenn Gelb und Blau zusammengemischt werden; man kann daher (nur das Auge als Prüfungsmittel vorausgesetzt) Grün als zur Hälfte Gelb, zur Hälfte Blau = $\frac{1}{2}$ Gelb + $\frac{1}{2}$ Blau annehmen. In gleicher Weise ist Orange = $\frac{1}{2}$ Roth + $\frac{1}{2}$ Gelb und Violett = $\frac{1}{2}$ Roth + $\frac{1}{2}$ Blau. Nehmen wir nun die 6 Farben des Spectrums zusammen, so ist Weiß = Roth + Orange + Gelb + Grün + Blau + Violett = 1 R + $\frac{1}{2}$ R + $\frac{1}{2}$ G + 1 G + $\frac{1}{2}$ G + $\frac{1}{2}$ Bl + 1 Bl + $\frac{1}{2}$ Bl + $\frac{1}{2}$ R = 2 R + 2 G + 2 Bl, und in dieser Weise kann man Weiß aus Roth, Gelb und Blau als Grundfarben zusammengesetzt annehmen. Untersucht man nun die Stelle d der Fig. 184, so erhält man dort: Roth, Orange, Gelb und Grün = 1 R + $\frac{1}{2}$ R + $\frac{1}{2}$ G + 1 G + $\frac{1}{2}$ G + $\frac{1}{2}$ Bl = $\frac{1}{2}$ (R + G + Bl) + 1 (R + G) + $\frac{1}{2}$ G = $\frac{1}{4}$ Weiß + 2 Orange + $\frac{1}{2}$ Gelb und das Resultat wird ein helles Orange mit bedeutender Annäherung an Gelb. Ebenso hat man in der Strecke l die Farben Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett = 1 R + 2 G + 2 Bl = 1 (R + G + Bl) + 1 (G + Bl) = $\frac{1}{2}$ Weiß + 2 Grün. Das Resultat ist: Grün und etwas Weiß, ein helles Grün.

§. 154. Sondert man von den Farben des Spectrums eine oder mehrere ab, so muß der Ueberrest zusammen irgend eine Mischfarbe bilden, zu der man nur die abgesonderten Farben wieder zu bringen hat, um Weiß hervorzurufen. Ist z. B. Roth weggenommen worden, so wird der Rest des Spectrums ein helles Grün. Bringt man das Roth und das Grün wieder zusammen, so erhält man Weiß. Beide Farben ergänzen sich gegenseitig zu Weiß und man heißt sie daher Complementär-Farben. In gleicher Weise gehören Gelb und Violett zusammen. In Fig. 185 sind je 2 sich gegenüberstehende Farben complementär.

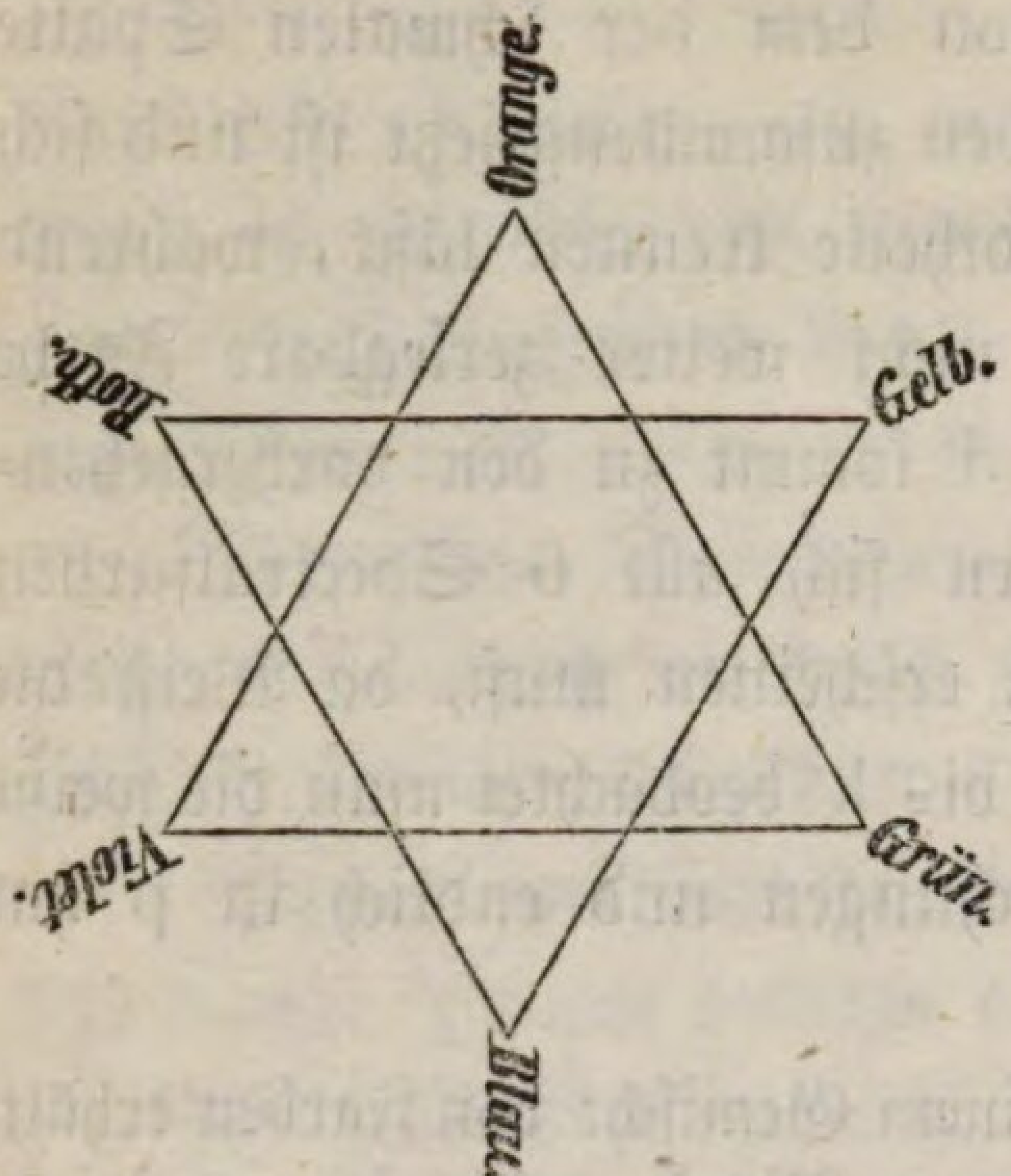


Fig. 185.

§. 155. Wenn die aus allen Farben zusammengesetzten Strahlen der Sonne auf einen an und für sich dunkeln Körper fallen, so werden sie entweder reflectirt, durchgelassen oder absorbirt. Wenn ein Körper alle auf ihn fallenden Strahlen in gleicher Weise reflectirt, keine Farbe vor der andern bevorzugt, so wird auch das von ihm reflectirte Licht die Eigenthümlichkeit des Sonnenlichtes haben, es ist weiß, und ein weißer Körper ist daher derjenige, der alle Farben gleichmäßig reflectirt. Läßt ein Gegenstand die auf ihn fallenden Strahlen der Sonne alle in gleicher Weise durch, so erscheint er farblos und durchsichtig, wenn die Strahlen ihn nach bestimmten Normen durchwandern, oder weiß und durchscheinend, wenn durch eine rauhe Oberfläche oder durch unregelmäßig in seinem Innern zerstreute undurchsichtige Puncte und dadurch hervorgebrachte unregelmäßige Reflexionen ein Durcheinander der Strahlen erzielt wird, das sein Analogon in dem zerstreuten reflectirten Lichte (§. 140) findet. Wenn ein Körper alle Strahlen verschluckt oder absorbirt, so erscheint er schwarz. Wie Weiß die Summe aller Farben, so ist Schwarz der Mangel aller.

Nicht jedesmal haben alle Strahlen des weißen Lichtes, wenn sie auf einen Körper fallen, das gleiche Schicksal. Die meisten Gegenstände reflectiren die Strahlen der einen Farbe leichter als die einer andern, sie suchen sich von den auf sie fallenden Farben gewissermaßen die einen heraus, um sie zu reflectiren, die andern, um sie zu absorbiren, die dritten, um sie durchzulassen, und dadurch sind die verschiedenen Farben der Körper bedingt. Ein grüner Körper ist daher ein solcher, welcher von den auf ihn fallenden Strahlen des weißen Lichtes vorzugsweise grüne oder solche Strahlen reflectirt, deren Mischung dem Auge als Grün erscheint. Untersucht man einen schmalen Streifen grünen Papieres auf schwarzem Grunde mit Hülfe des Prismas, so kann man möglicherweise alle Farben des Spectrums darin vertreten finden; aber dieselben haben nicht alle die gleiche Intensität und ihre Mischung gibt nach den in §. 153 angegebenen Grundsätzen Grün. Hängt man das grüne Papier an diejenige Stelle einer Wand

(§. 153), auf welche ein durch weißes Licht hervorgebrachtes Spectrum fällt, so wird es an den grünen oder blau und gelben Stellen des Spectrums hell, an den übrigen dunkel erscheinen. Es ist möglich, daß ein grünes Papier bei der Untersuchung gar keine grünen Strahlen zeigt, sondern nur gelbe und blaue, die dem Auge als Gesammteindruck Grün geben. Eine rothe Farbe hat derjenige Körper, der solche Strahlen reflectirt, deren Gesammteindruck Roth ist. Von den nichtrothen Farben können außerdem noch die eine oder die andere mehr oder weniger intensiv vertreten sein, und so erscheinen die manchfaltigen Nuancen, die man im Roth findet. Dasselbe findet sich bei allen Farben.

Auch die durchsichtigen und durchscheinenden Körper beobachten nicht gegen alle Farben dasselbe Verhalten. Sieht man durch einen solchen Gegenstand auf ein vollständiges Spectrum, so beobachtet man in diesem Lücken, welche den ausfallenden Farben entsprechen. Auch hier kommt es vor, daß in den durchgelassenen Strahlen eines z. B. blauen Körpers noch ganz andere sind. So findet man bei Untersuchung der Lösung von Indigo in Schwefelsäure außer Blau noch Roth, während die Lösung von Berlinerblau in Oxalsäure nur Blau zeigt.

§. 156. Wenn das Licht der Sonne, unseres vorzüglichsten Lichtspenders weiß ist, so ist es darum nicht das Licht aller Lichtquellen. So haben wir unter den Fixsternen Lichtquellen von allen Farben, und in dem Spectrum ihres Lichtes ist daher bald die eine Farbe bald die andere mehr vertreten. Auch die künstlichen Lichter sind verschiedenfarbig. Das Licht der Kerzen und des Gases sind vorherrschend gelb und daher kommt die Schwierigkeit, bei Kerzenbeleuchtung Grün von Blau, Gelb von Weiß zu unterscheiden. Die Flamme des Weingeistes, die für sich nur schwach leuchtend ist, wird wenn man Kochsalz auf den Docht streut intensiv gelb, durch Strontiansalze wird sie roth, durch Barytsalze grün gefärbt. Untersucht man die Spectra dieser Flammen, so ergibt sich, daß die Kochsalzflamme homogen gelb ist, denn das ganze Spectrum reducirt sich auf einen hellen gelben Streifen, während die Strontianflamme außer mehreren Streifen in Roth einen hellen Streifen in Orange und eine feine Linie in Blau besitzt. Die Barytflamme bietet ein ganzes Gitter heller Streifen in Grün und Gelb. Es gelingt so, aus den Spectren der Flammen auf die Körper zurückschließen zu können, denen diese oder jene Theile des Spectrums eigenthümlich sind, und nach Bunsens Vorgang wird die Analyse der Spectren von Flammen, in denen die zu untersuchende chemische Sub-

stanz glüht, mit Glück dazu benützt, um die Anwesenheit der geringsten Mengen verschiedener Stoffe qualitativ nachzuweisen.

§. 157. Wenn man hinter dem Prisma, welches das durch eine enge Spalte in das Zimmer kommende Sonnenlicht zerlegt, ein Fernrohr so anbringt, daß man durch dasselbe ein deutliches Bild des Spectrums erhält, so gewahrt man in diesem eine große Anzahl von schwarzen Linien, welche parallel mit der Richtung der brechenden Kante des Prismas sind. Je stärker die Vergrößerung des Fernrohrs ist, um so mehr dieser Linien gewahrt man; aber diejenigen, die man sieht, sind immer an derselben Stelle des Spectrums, es mag das Prisma aus was immer für einem Materiale hergestellt, es mag ihre Vertheilung im Spectrum so unregelmäßig als möglich sein. Fraunhofer, nach welchem diese Linien die Fraunhofer'schen genannt werden, hat die Stellung einiger der auffallendsten derselben im Spectrum bestimmt und ihnen zur Unterscheidung von einander verschiedene Buchstaben beigelegt. Fig. 186 zeigt ihre Vertheilung, wie man sie in einem Flint-

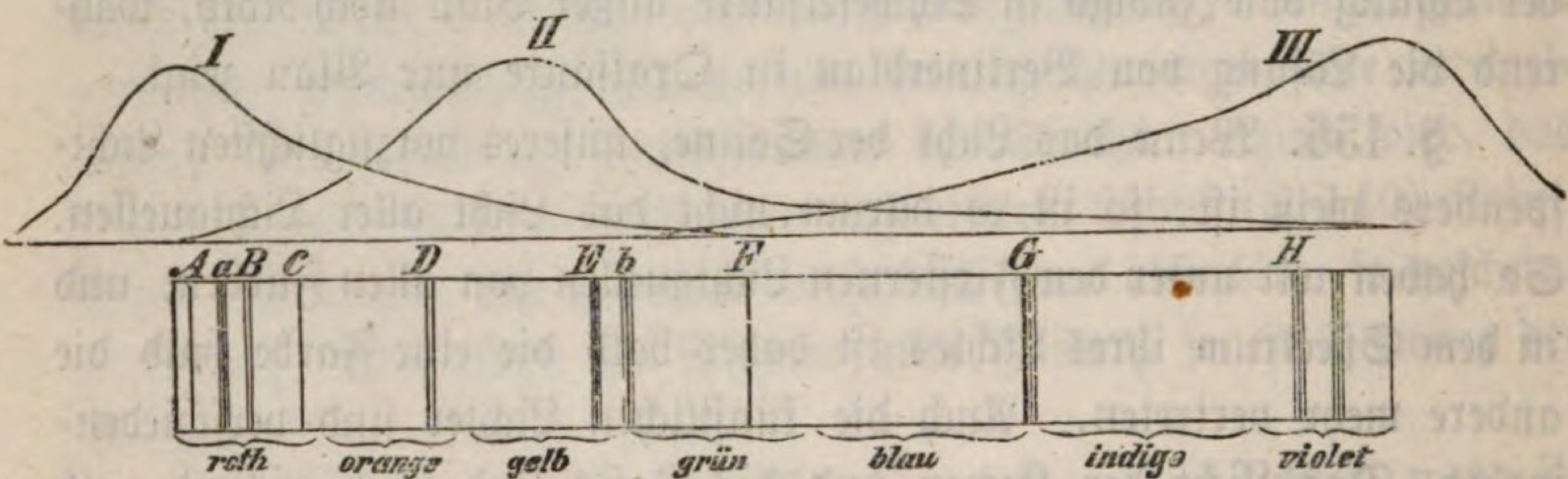


Fig. 186.

glasprisma wahrnimmt. Die Ausdehnungsverhältnisse der einzelnen Farben wechseln mit dem Stoffe, aus dem das Prisma verfertigt ist, die eine Farbe ist bald verhältnißmäßig kürzer, bald länger, aber mit der Verkürzung Hand in Hand geht die Annäherung der entsprechenden Linien, so daß diese also immer bei der gleichen Stelle ihrer Farbe bleiben.

Die Fraunhofer'schen Linien bleiben dieselben, so lange das untersuchte Licht von der Sonne herrührt, die Strahlen der Planeten geben daher die gleichen Linien wie die Sonne; die Fixsterne dagegen geben andere Linien und ebenso ist dieses bei andern Lichtquellen der Fall. Glühende feste Körper geben ein continuirliches Spectrum ohne Linien. Gehen die Strahlen eines solchen Spectrums durch ein glühendes Gas, in welchem sich Stoffe befinden, die für sich nach dem vorigen Paragraphe da oder dort eine helle Linie erscheinen lassen, so absorbirt dieses Gas aus dem durchgehenden Lichte gerade diejenigen Strahlen, die es selbst besitzt, und es erscheint daher statt des

hellen Streifens ein dunkler. So coincidirt der helle Streifen des Natriums mit der Linie D des Sonnenspectrums. Untersucht man eine Flamme, in welcher sich eine Natriumverbindung befindet, so beobachtet man eine helle Linie in Gelb, während das durch glühenden Kalk hervorgebrachte Drummondsche Kalklicht als von einem glühenden festen Körper herstammend ein continuirliches Spectrum zeigt. Läßt man letztere Strahlen bei entsprechender Intensität derselben durch eine Natriumflamme gehen, so beobachtet man eine dunkle Linie an der Stelle der hellen und es findet daher eine Umkehrung statt. Die Coincidenz mancher Linien des Sonnenspectrums mit hellen Linien einzelner chemischen Stoffe hat nun zur Annahme geführt, daß diese letzteren sich in Gasform in der Sonnenatmosphäre befinden und so verursachen, daß in dem Sonnenlichte, wie es auf die Erde kommt, nicht alle Farben zwischen dem äußersten Roth und dem äußersten Violett vorhanden sind, sondern daß einzelne (die den dunkeln Linien entsprechenden) Nuancen fehlen. So weist nach Angström die Linie B auf Kalium, C auf Wasserstoff, D Natrium, E Eisen, F Strontium, G Eisen, H Calcium.

Von den im Spectrum fehlenden Farben geht übrigens ein Theil auch in unserer Atmosphäre und nicht in der der Sonne verloren. Wenn die Sonne hoch steht, so sieht man weniger Linien als bei dem Auf- und Niedergange derselben. Läßt man das Licht, ehe es zerlegt wird, durch Jod- oder Bromdampf gehen, so werden die Linien ebenfalls zahlreicher.

§. 158. Der Eindruck der Helle, welche die einzelnen Stellen des Spectrums auf das Auge machen, ist nicht allenthalben derselbe. Am hellsten ist das Gelb, von welchem aus das Licht nach beiden Seiten abnimmt; doch ist die Abnahme nicht gleichmäßig, sondern richtet sich nach Fraunhofers Bestimmung nach der Curve II (Fig. 186), in welcher die Entfernung des Curvenelementes von der Horizontallinie dem Eindrucke, den der entsprechende Theil des Spectrums auf das Auge macht, proportional ist. Ueber das äußerste Roth hinaus sieht zwar das Auge nichts mehr, obwohl dort noch Strahlen vorhanden sind, aber diese wirken nicht auf den Gesichtssinn, sondern auf das Gefühl und das Thermometer als Wärme. Die Wärmewirkung der Strahlen ist wieder nicht bei jeder Brechbarkeit derselben gleich: sie regelt sich nach der in Fig. 186 links von der Lichtlinie angegebenen Curve I und es gibt daher außer dem Lichtspectrum noch ein solches für die Wärme. Ein drittes Spectrum ist das chemische, welches bei chemischen Wirkungen, z. B. der Photographie in Betracht kommt, sich rechts von dem optischen (Curve III) befindet und wie das Wärmespectrum auf der einen Seite, so auf der andern über das optische hinausgreift.

Es gibt also Strahlen von sehr verschiedener Brechbarkeit, die aber nicht alle von dem Auge wahrgenommen werden können.

§. 159. Strahlen, die vermöge ihrer Brechbarkeit über die am Ende von Violett befindliche Linie J hinausfallen, kann man nicht unmittelbar sehen, aber es gibt Körper, welche ihre Brechbarkeit vermindern und sie daher sichtbar werden lassen. Läßt man das durch ein Flintglas- oder noch besser durch ein Bergkrystall-Prisma hervorgebrachte Spectrum auf ein gewöhnliches weißes Papier fallen, so sieht man von den Strahlen, die über J hinausfallen, nichts, ersetzt man aber das gewöhnliche Papier durch solches, das mit einer Lösung von schwefelsaurem Chinin überstrichen ist, so geht das Spectrum alsbald um fast ein Drittheil seiner vorigen Länge über J hinaus, die auf jene Stellen gefallenen Strahlen, die vorher ihrer starken Brechbarkeit wegen unsichtbar waren, sind nun sichtbar, sind weniger brechbar geworden. Die Fluorescenz (so heißt diese Erscheinung) macht jedoch nicht nur die ultravioletten Strahlen sichtbar, sie läßt auch den bisher blauen und violetten Theil des Spectrums, etwa von der Fraunhoferschen Linie F an, in einem bläulichweißen Lichte erscheinen, welches wie man sich durch Betrachtung desselben mittelst eines Prismas leicht überzeugen kann, aus allen Theilen der Spectrumsfarben zusammengesetzt ist und man sieht also Farben, die in dem auffallenden Lichte an den betreffenden Stellen gar nicht vorhanden sind. Wird statt des Flintglas- oder Bergkrystallprisma ein solches aus Crownglas genommen, so bringt die Chininlösung keine Verlängerung des Spectrums hervor, was darauf schließen läßt, daß die ultravioletten Strahlen dieses Glas nicht durchdringen können. Wären die ultravioletten Strahlen für sich sichtbar, so würden sie ohne Zweifel irgend eine Farbe darstellen, die sich mit den andern zu irgend einem Gesammteindrucke vereinigen würde, der dann an die Stelle unseres gegenwärtigen Weiß zu setzen wäre. Eine Platte von Flintglas würde in diesem Falle diese neue Gesammtfarbe durchlassen, eine Platte von Crownglas nur unser bisheriges Weiß und es würde zwischen beiden Gläsern ein ähnlicher Unterschied stattfinden, wie wir ihn gegenwärtig etwa zwischen weißem und rothem Glase wahrnehmen, von denen das eine alle (sichtbaren) Strahlen, das andere nur einen Theil durchläßt. Das Crownglas erscheint uns fast so farblos als das Flintglas und dieses ist nur dem Umstande zuzuschreiben, daß unser Auge gerade diejenigen Strahlen nicht sieht, welche den Unterschied zwischen Flintglas und Crownglas ausmachen.

Außer dem schwefelsauren Chinin gibt es noch mehrere fluorescirende Körper, die ebenfalls eine andere Farbe zeigen, als das auf

sie fallende Licht besitzt. Unter ihnen sind einige Varietäten des Flußspathes (Fluorcalcium), welche zu der Bezeichnung Fluorescenz Veranlassung gegeben haben. Hält man eine Sammellinse von 1 bis 2 Zoll Brennweite so über den fluorescirenden Körper, daß der durch sie hervorgerufene Strahlenkegel in denselben hineinfällt, so wird dieser Kegel eine Farbe zeigen, welche von der des einfallenden Lichtes verschieden ist. So erscheint er

Roth in einem ätherischen oder alcoholischen Auszug von grünen Blättern,
Grün in Curcumatinctur und in Uranglas,
Hellblau in Chininlösung und in dem wässerigen Aufguß von Kastanienrinde,
Blau in Flußspath.

Ist das Licht des Strahlenkegels vor seinem Durchgange durch die Linse durch eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak gegangen, die nur die blauen Strahlen durchläßt, so wird der Kegel im Uranglas doch grün und in dem Blattgrünauszug roth, und die blaue Farbe ist daher in eine weniger brechbare umgewandelt; läßt man dagegen schon ursprünglich nur Licht zu, welches wenig brechbar ist, so verschwindet die Aenderung der Farbe. Läßt man einen Lichtstrahl, der vermittelst des Heliostaten in ein dunkles Zimmer geleitet wurde, durch Kobaltglas gehen, so erscheint er blau, er enthält aber noch viele ultraviolette Strahlen. Fällt das Licht nun auf gewöhnliches Papier, so wird dieses blau, aber mit Chininlösung bestrichen leuchtet das Papier hell.

§. 160. Viele Aehnlichkeit mit der Fluorescenz hat die Phosphorescenz, vermöge deren manche Körper, wie Diamant, einige Varietäten von Flußspath, dann vorzugsweise die sogenannten Leuchtsteine (Schwefelcalcium, Schwefelstrontium oder Schwefelbaryum unter dem Einflusse höherer Temperatur auf trockenem Wege dargestellt) nach vorausgegangener Beleuchtung im Dunkeln einige Zeit lang Licht ausstrahlen, das bei den verschiedenen Präparaten von verschiedener Farbe ist. Auch hier sind die stärker brechbaren Strahlen des Lichtes am besten geeignet, die Erscheinung hervorzurufen.

§. 161. Wie die durch die Wirkung eines Prismas hervorgebrachte Ablenkung der Lichtstrahlen von ihrer ursprünglichen Richtung größer wird, wenn der brechende Winkel desselben wächst, so nimmt auch die Farbenzerstreuung d. i. der Unterschied in der Ablenkung der Strahlen

verschiedener Farben zu, und wie es Körper gibt, die bei gleichem brechenden Winkel des Prismas die Strahlen mehr ablenken, also ein größeres Brechungsvermögen haben als andere, so haben wir auch solche, deren Farbenzerstreuungs- oder Dispersionsvermögen größer ist. Das Brechungsvermögen der Körper hält aber mit dem Dispersionsvermögen nicht gleichen Schritt und die Spectra, welche die aus ihnen gebildeten Prismen geben, sind daher bei gleicher Ablenkung einer etwa der rothen Farbe verschieden groß. Hat man 2 aus verschieden zerstreuenden Körpern etwa aus Flintglas und aus Crownglas verfertigte Prismen mit horizontaler brechender Kante neben einander hinter einer horizontalen Spalte so angebracht, daß das eine den linken, das andere den rechten Theil des durch die Spalte dringenden Lichtes empfängt und sind deren brechende Winkel so eingehalten, daß das Roth der beiden Spectren eines neben dem andern liegt, so zeigt sich, daß dieses nicht auch für die andern Farben gilt, denn diese werden bei dem Flintglasprisma mehr abgelenkt sein, weil letzteres ein größeres Dispersionsvermögen hat und diesem ein längeres Spectrum entspricht. Man kann nun dem Flintglasprisma einen kleineren brechenden Winkel geben und so ein Spectrum erzielen, welches eben so lang ist als das des Crownglases, aber dann wird sich zeigen, daß das Flintglasspectrum weniger abgelenkt ist, als das andere. Darauf beruht die Möglichkeit, durch Combination der Prismen verschiedener Stoffe die Farbenzerstreuung aufzuheben, ohne darum alle Ablenkung zu verlieren. Es seien A und B (Fig. 187) 2 solche Prismen, von denen das eine A aus Crownglas, das andere B aus Flintglas gefertigt ist. Ein Sonnenstrahl durch A gehend gibt das Spectrum rv, und wenn er durch B geht, so kommt $r_1 v_1$ zum Vorschein, das mit rv gleiche Länge hat. Während so die Farbenzerstreuung beider Prismen gleich ist, kann dasselbe nicht von der Ablenkung gesagt werden, denn die Strahlen, die das Spectrum

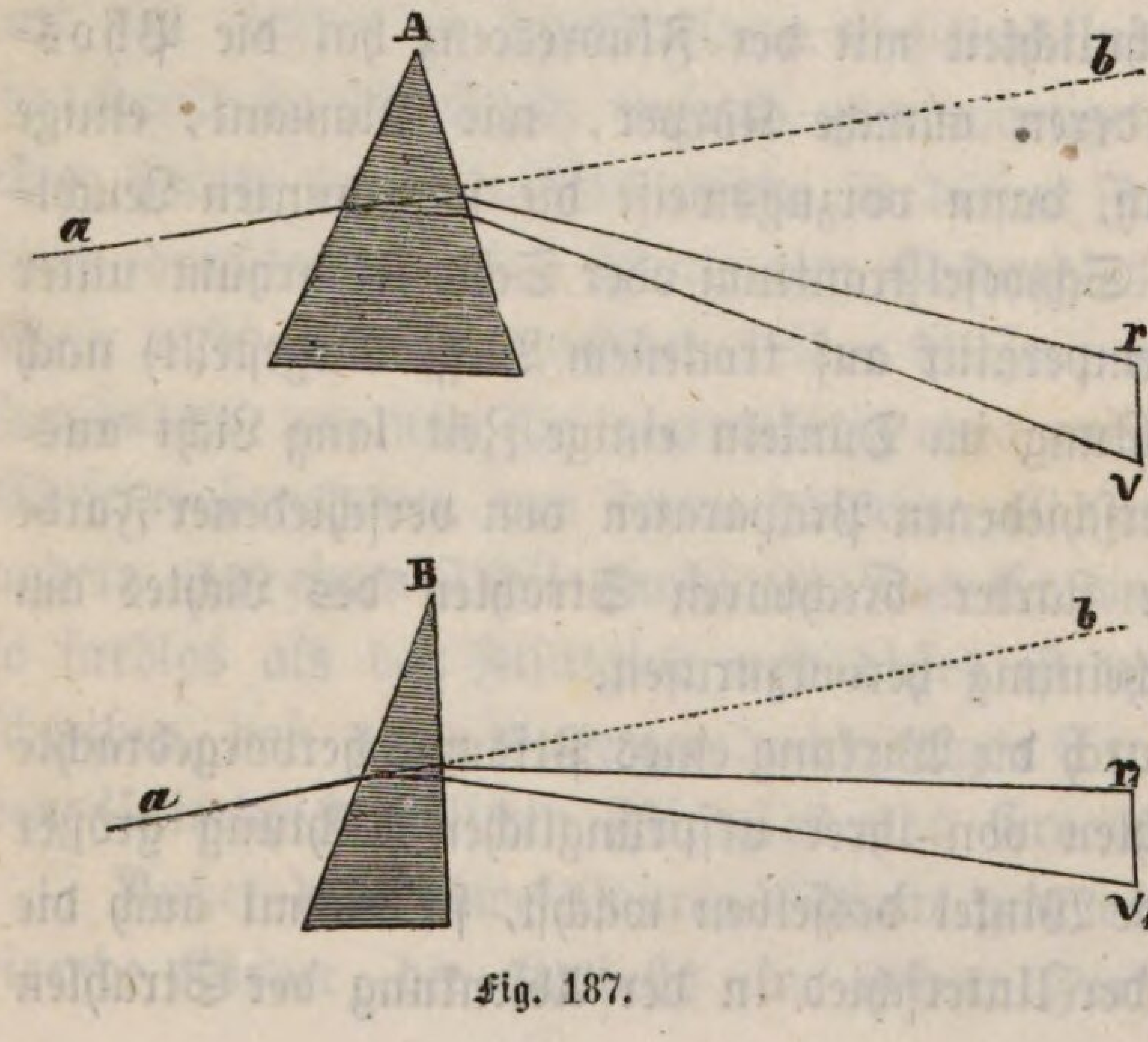


Fig. 187.

rv bilden, sind von ihrer ursprünglichen Richtung ab weiter entfernt, als die des Spectrums r_1v_1. Gibt man dem Prisma B eine umgekehrte Stellung, so daß die brechende Kante nach unten gerichtet ist, so wird die Ablenkung der Strahlen nach oben erfolgen, aber ihre Größe und Farbenzerstreuung bleibt dieselbe, und bringt man dasselbe (Fig. 188) hinter das Prisma A, so wird die durch dasselbe hervorgerufene Farbenzerstreuung aufgehoben, denn B wirkt mit derselben Kraft aber in dem entgegengesetzten Sinne von A. Bei der Ablenkung ist dieses nicht der Fall. Zwar wirken auch hier die beiden Prismen entgegengesetzt, da aber die von dem Crownglasprisma bewirkte Aenderung in der Richtung der Strahlen die größere ist, bleibt davon noch die Differenz der Wirkung beider Prismen übrig.

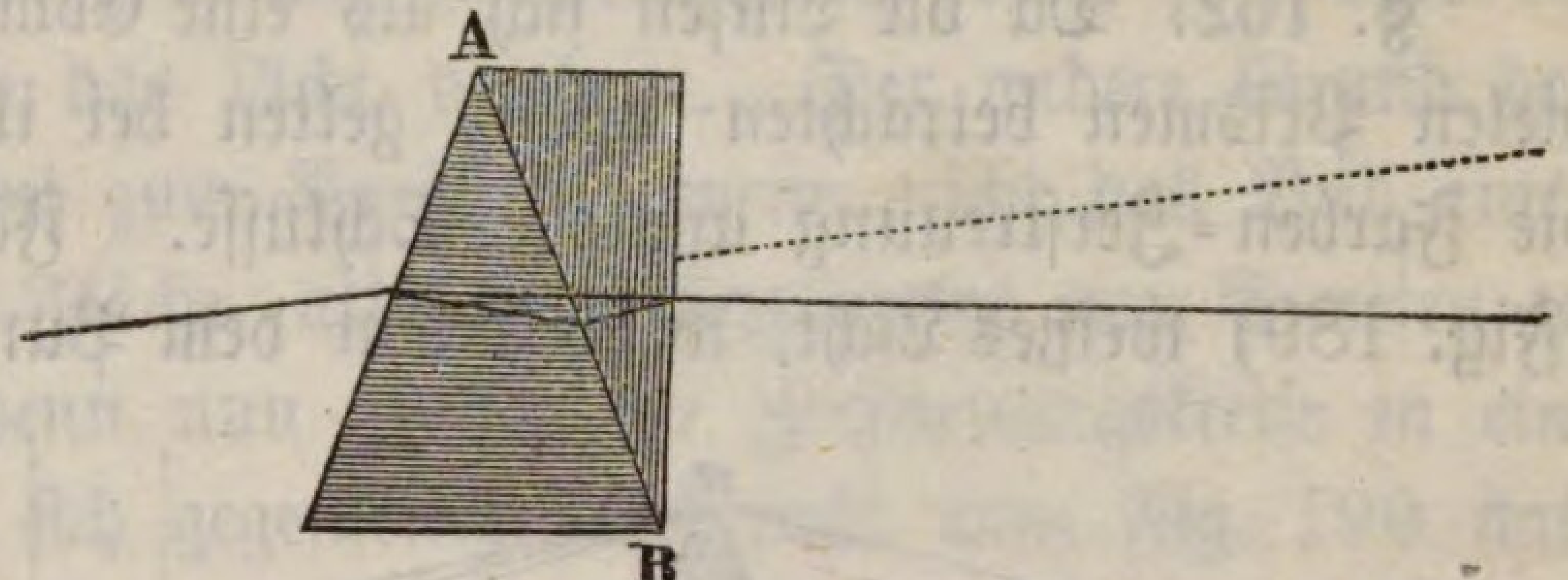


Fig. 188.

Man kann also durch Combination von zwei aus verschiedenen Substanzen hergestellten Prismen die Farbenzerstreuung aufheben und doch noch eine Ablenkung übrig behalten. Man nennt eine solche Combination zweier Prismen ein achromatisches Prisma.

Wenn auch die Theorie des Achromatismus nach dem Vorstehenden sehr einfach ist, so unterlag doch die practische Herstellung eines achromatischen Prismensystems lange manchen Schwierigkeiten. Der Hauptumstand war die Unmöglichkeit, die Länge der Spectren genau zu bestimmen, denn bei genauer Untersuchung derselben findet sich, daß sie an beiden Enden so allmählig schwächer werden, daß es vollkommen unmöglich ist, ihre Gränze genau anzugeben. An die einzelnen Farben im Spectrum selbst kann man sich ebensowenig halten, denn hier sind die Uebergänge so allmählig, daß man völlig außer Stande ist, dieselbe Nuance in den beiden zu vergleichenden Spectren genau auszumitteln und aus ihrer Ablenkung den Brechungscoëfficienten zu bestimmen. Diesem großen Mangel hat Fraunhofer durch die nach ihm benannten Linien abgeholfen, denn diese geben Anhaltspuncte, mit deren Hülfe die Brechungscoëfficienten für alle Theile des Spectrums auf's Genaueste bestimmt werden können.

Trotz der Hebung des Hauptmangels ist der durch Combination von Prismen erzielte Achromatismus kein vollkommener, weil das Dispersionsvermögen der einzelnen Körper bei den einzelnen Farben wechselt und wenn z. B. das Blau in dem Spectrum des einen Prismas noch einmal so lange ist als die gleiche Farbe in dem andern, so folgt darum nicht, daß dieses Ver-

hältniß auch für die andern Farben gelte. Man sucht sich gegen die Consequenzen dieses Umstandes dadurch zu schützen, daß man dafür sorgt, daß wenigstens die Zerstreuung derjenigen Farben aufgehoben wird, die in der Gegend des Maximums der Helligkeit des Spectrums sind. Die äußersten Farben schaden ihrer geringeren optischen Wirkung wegen weniger.

§. 162. Da die Linsen sich als eine Combination von unendlich vielen Prismen betrachten lassen, gelten bei ihnen in Beziehung auf die Farben-Zerstreuung analoge Schlüsse. Fällt auf eine Linse ab (Fig. 189) weißes Licht, welches von dem Puncte A ausgeht und als

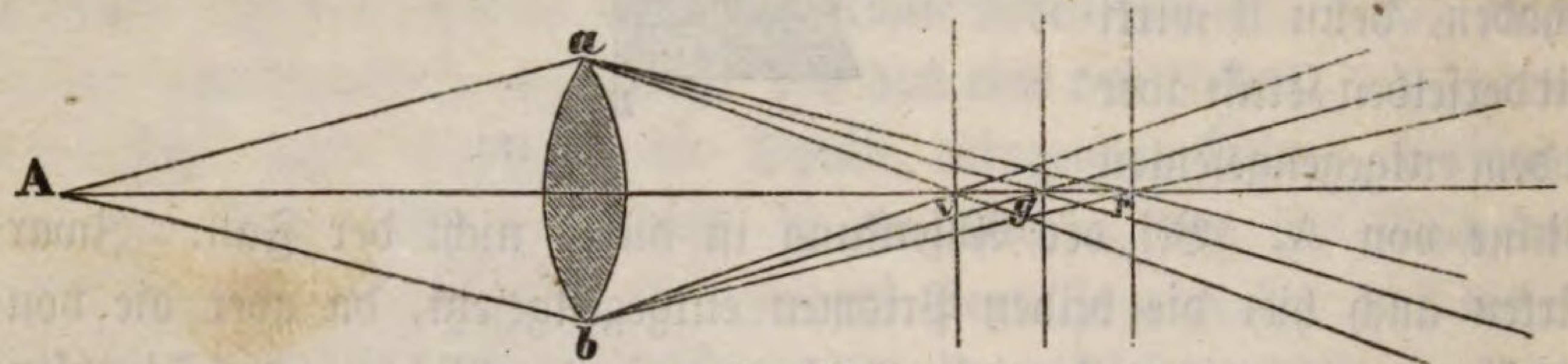


Fig. 189.

weißes Licht Farben von der verschiedensten Brechbarkeit enthält, so ist es unmöglich, daß sich die Strahlen sämmtlich in einem jenseits der Linse gelegenen Puncte sammeln. Ist nämlich jede Farbe anders brechbar, so kommt auch jeder ein anderer Brechungscoëfficient n zu, und da dessen Werth in der Formel 5) des §. 147, welche die Entfernung des Sammelpunctes der Strahlen von der Linse angibt, einen wesentlichen Theil ausmacht, so vereinigen sich die von demselben Puncte A ausgehenden verschiedenfarbigen Strahlen in verschiedenen Entfernungen von der Linse. Betrachten wir zunächst das Verhalten einer beliebigen Farbe, etwa des Gelb, so werden ihre Strahlen von allen Puncten der Linse aus gegen den Sammelpunct g convergiren und so einen Kegel darstellen, dessen Spitze der Punct g ist; wenn sie aber diesen erreicht haben, so gehen sie jeder nach seiner Richtung fort, also wieder auseinander, und so entsteht ein zweiter Kegel, der ebenfalls seine Spitze in g hat. Stellt man nun einen Schirm in g, der Spitze beider Kegel auf, so vereinigen sich die Strahlen in einem Puncte, man hat das Bild von A. Bringt man jedoch den Schirm nach v, so haben sich die Strahlen noch nicht vereinigt und man sieht auf dem Schirme nicht einen leuchtenden Punct, sondern eine helle runde Fläche, den Durchschnitt des Schirmes und des vordern Kegels. Bringt man den Schirm nach r, so sind die Strahlen schon divergirend und man erhält statt des Punctes wieder eine runde Fläche, den Durchschnitt des Schirmes und des hintern Kegels. Man nennt die Kreise, die das

eigentlich zu einem Puncte gehörende Licht enthalten, Zerstreuungskreise; sie rühren davon her, daß das Bild in der unrichtigen Entfernung von der Linse aufgefangen wurde, und verursachen aus zwei Gründen ein Undeutlichwerden des Bildes. Der erste Grund ist der, daß das Licht statt in einem einzigen Puncte concentrirt zu sein, sich auf einen Kreis ausbreitet, der um so weniger hell wird, je größer die Fläche ist, auf die sich das Licht vertheilt. Der andere Grund des Undeutlichwerdens kommt zum Vorschein, wenn nicht das Bild eines Punctes, sondern einer Fläche, also eines Aggregates von Puncten zu Stande kommen soll, denn nun greifen die Zerstreuungskreise in einander über und stören sich gegenseitig. So sieht man Fig. 190 statt der 2 Puncte A die Zerstreuungskreise B, die sich zusammen nicht als 2 von einander getrennte Puncte, sondern als eine längliche Fläche also unrichtig präsentiren. Gehen wir nun auf den Fall über, daß verschiedenfarbige Strahlen die Linse passiren, so vereinigen sich die violetten Strahlen in v, die gelben in g, die rothen in r. Hält man nun den Schirm nach v, so bekommt man allerdings das Bild der violetten Strahlen, aber zugleich die Zerstreuungskreise der gelben und rothen, da deren Vereinigungspuncte erst weiter hinten liegen. Bringt man den Schirm nach g, so erhält man das gelbe Bild, aber die violetten und rothen Zerstreuungskreise, denn die violetten Strahlen haben den Vereinigungspunct schon früher passirt, die rothen haben ihn noch nicht erreicht. Man bekommt daher bei jeder Stellung des Schirmes die Zerstreuungskreise der einen oder der andern Farbe, und das Resultat davon ist, daß alle durch einfache Linsen hervorgebrachten Bilder einen farbigen Saum besitzen, der ihre Deutlichkeit beeinträchtigt. Man nennt diesen Fehler die chromatische Aberration.

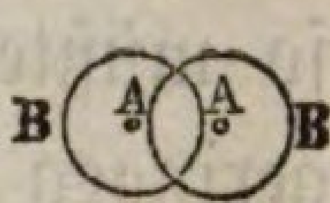


Fig. 190.

Zur Verhütung der chromatischen Aberration verfährt man wie bei den Prismen. Wie ein umgekehrt gestelltes Prisma von Flintglas die vorher durch ein Crownglasprisma entstandene Farbenzerstreuung aufhebt und noch einen Rest der Ablenkung übrig läßt, so hebt eine Concavlinse von Flintglas die durch die Convexlinse von Crownglas hervorgebrachte chromatische Aberration auf, läßt jedoch die Ablenkung zum Theile übrig und es kann daher noch ein Bild entstehen, was nicht möglich wäre, wenn die Ablenkung gleichzeitig mit der Farbenzerstreuung verschwinden würde. Eine solche Combination einer Convex- und einer Concavlinse, welche die Strahlen aller Farben an dem

gleichen Puncte vereinigt, heißt achromatisch. Wenn ein solches System gleichzeitig auch die Rand= und die Centralstrahlen an dem nämlichen Puncte vereinigt, also nicht nur die chromatische, sondern auch die sphärische Aberration (§. 150) aufhebt, so heißt sie aplanatisch. Man hat auf den beiden Linsen zusammen 4 Flächen, deren Radien so gewählt werden, daß sie die vorgeschriebenen Bedingungen erfüllen.

Für Convexlinsen, die eine sehr kurze Brennweite haben sollen, benützt man ein anderes Achromatisirungssystem. Es ist nämlich, um eine kurze Brennweite zu erzielen, eine bedeutende Krümmung der Linse nöthig. Da man keine großen Linsen mit starker Krümmung machen kann (denn eine große Kugel mit kleinem Radius ist eine Unmöglichkeit), so müßte man sehr kleine Linsen nehmen; weil aber durch diese ihres geringen Durchmessers wegen nur wenig Licht hindurch kann, zieht man vor, durch 2 weniger gekrümmte aber dafür größere Linsen dieselbe Arbeit verrichten zu lassen, die im Nothfalle eine einzige zu verrichten hat, und diese beiden Convexlinsen müssen gleichzeitig achromatisch sein. Sind A und B (Fig. 191) solche Linsen, so zerlegt allerdings A den

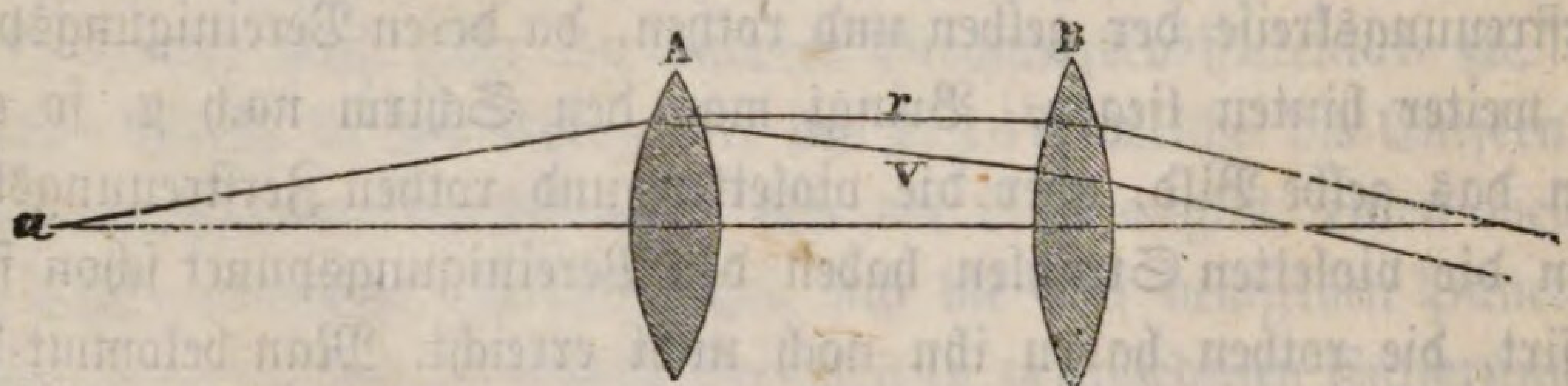


Fig. 191.

von a ausgehenden Strahl und gibt das Spectrum rv, allein auf der zweiten Linse fällt der rothe Strahl auf ein mehr geneigtes Stück und wird stärker abgelenkt als v und es können dann die Krümmungen der Linsen so gewählt werden, daß die Strahlen der verschiedenen Farben nach dem Austritte aus der Linse B parallel sind, was wie weiter unten bei der Lehre vom Auge gezeigt werden wird, für dieses die Farben verschwinden läßt.

Vom Auge und den optischen Instrumenten.

§. 163. Das Auge des Menschen und der höher organisirten Thiere ist ein aus einer größeren Anzahl von Theilen bestehendes Organ. Zum weitaus größeren Theile ist der Augapfel, von dem Fig. 192 einen Durchschnitt zeigt, von einer harten lederartigen Haut,

der Lederhaut (tunica sclerotica) a umgeben. Wird diese entfernt, so erblickt man eine zweite Haut, die Aderhaut (tunica choroidea) b, welche im normalen Falle schwarz ist und die aus ganz feinen Nervenfasern bestehende Netzhaut (retina) c umgibt, welche durch den Sehnerven (nervus opticus) d, als dessen Ausbreitung sie zu betrachten ist, mit dem Gehirn zusammenhängt. Der

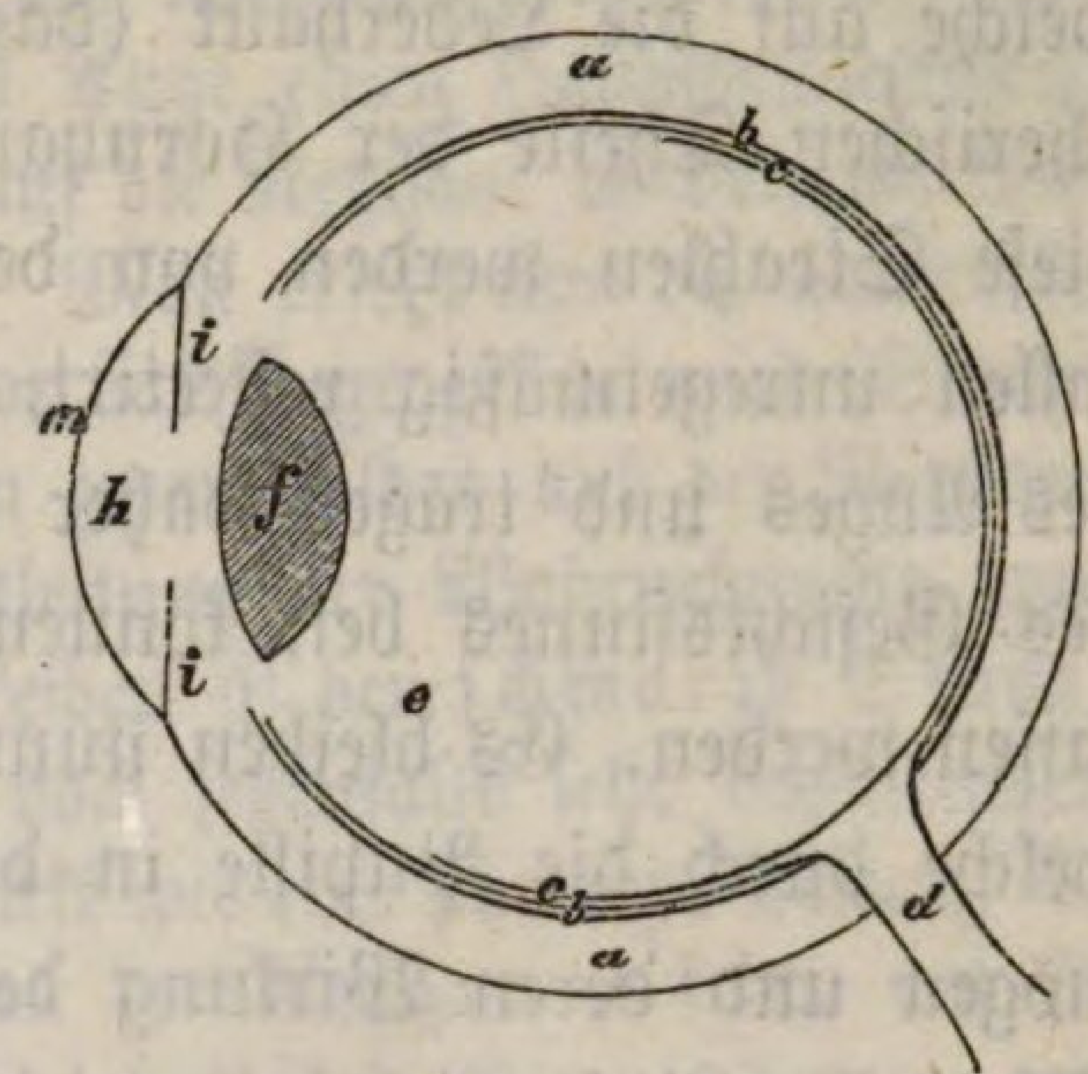


Fig. 192.

größere mittlere Theil des Auges ist durch den Glaskörper (humor vitreus) e, eine durchsichtige gallertartige Substanz erfüllt, auf dessen vorderer Seite sich die Linse (lens) f befindet, die ebenfalls eine Art Gallerte ist, welche aber eine viel bedeutendere Consistenz als der Glaskörper besitzt. Die Linse besteht wieder aus einer großen Anzahl von Schalen, die wie die Schalen einer Zwiebel einander umschließen und nach innen zu immer fester werden. Sie ist vorn flacher als hinten und steckt in einer durchsichtigen Kapsel. Unmittelbar vor der Linse ist die Regenbogenhaut (iris) i, eine Art von Vorhang, der in der Mitte ein (bei den Menschen kreisförmiges) Loch hat. Durch die Iris wird das Innere des Auges in 2 Höhlen, eine größere hintere und eine kleinere vordere getheilt. Sieht man die Iris von vorn an, so zeigt sie eine bei den verschiedenen Menschen verschiedene Farbe; sie macht die Augen zu blauen, schwarzen, braunen u. s. w. In der Mitte der Iris gewahrt man die kreisförmige Oeffnung, die Pupille, welche schwarz erscheint, doch rührt diese Färbung nur davon her, daß die hintere Augenhöhle dunkel ist. Die Pupille ist ein Loch in der Iris, nicht ein Körper, und man sieht aus demselben Grunde schwarz, aus dem auch die Zimmer eines Hauses schwarz erscheinen, wenn man von ferne durch das geöffnete Fenster hineinsieht, und aus dem das Innere einer Höhle von außen durch die Oeffnung gesehen schwarz ist. In der vordern Augenhöhle befindet sich eine klare, etwas salzige Flüssigkeit, die wässerige Feuchtigkeit (humor aqueus) h, welche die vordere Augenhöhle ausfüllt und den Schluß macht endlich die nach ihrer Textur benannte Hornhaut (tunica cornea) m.

Fragt man nach der Gesammtwirkung aller dieser Organe, nach den Vorgängen, die mit den auf das Auge fallenden Lichtstrahlen stattfinden, so haben wir zunächst diejenigen der letzteren zu betrachten,

welche auf die Lederhaut (das Weiße im Auge) und durch die peripherischen Theile der Hornhaut hindurch auf die Iris fallen. Alle diese Strahlen werden von den Oberflächen der Theile auf welche sie fallen unregelmäßig reflectirt, zerstreut, sie dringen nicht in's Innere des Auges und tragen daher auch nichts zur Wahrnehmung vermittelst des Gesichtssinnes bei, können also im Folgenden unberücksichtigt gelassen werden. Es bleiben nunmehr nur noch diejenigen Strahlen übrig, welche durch die Pupille in die hintere Augenhöhle vorzudringen vermögen und deren Wirkung der Hauptsache nach folgende ist. Bis zur Mitte der Linse hin fallen die von einem Puncte A (Fig. 193) ausgehenden Strahlen fort und fort auf die convexen Oberflächen von Substanzen, von denen immer die hintere das Licht stärker bricht als die vordere; dadurch werden sie mehr und mehr dem Einfallslothe genähert und bei dem ferneren Durchwandern der immer weniger dicht werdenden concaven (hintern) Theile der Medien ergibt sich endlich der Erfolg, daß die sämmtlichen Lichtstrahlen, die von A ausgingen, auf der Netzhaut in a sich wieder vereinigen. Die allmählig sich ändernden Medien erzielen die Wirkung einer Glaslinse in Beziehung auf die Brechung; es ist aber durch dieses Mittel das Auge auch nahezu achromatisch gemacht. So entsteht der Linsenwirkung ganz analog auf der Netzhaut ein umgekehrtes Bild der leuchtenden Objecte, die sich vor dem Auge befinden und die aus einem äußerst feinen Nervengeflechte bestehende Netzhaut wird durch die auf sie fallenden Strahlen in irgend einer Weise afficirt, sie theilt diese Empfindung durch Vermittlung des Sehnervens dem Gehirne mit, wo die Empfindung zur Wahrnehmung wird. Worauf die Einwirkung des Lichtes auf das Nervengeflechte beruhe, wie dieselbe dem Gehirne mitgetheilt werde, das kann man nicht angeben; man weiß nur, daß die Bilder auf der Netzhaut entstehen, und damit endet die physicalische Aufgabe der Erklärung des Sehens.

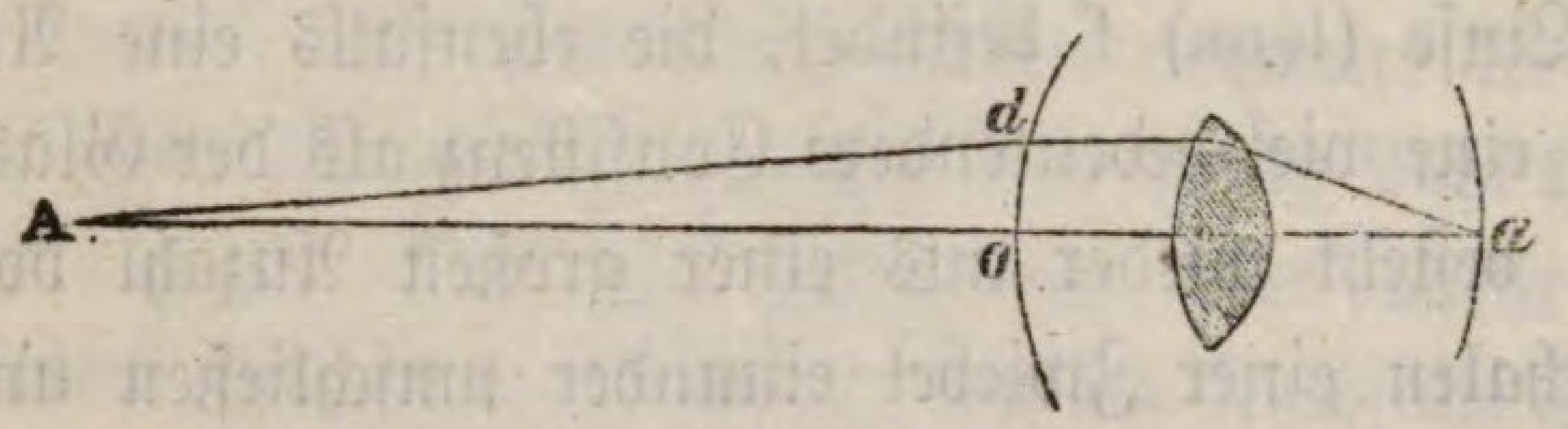


Fig. 193.

Der vorzugsweise lichtbrechende Bestandtheil des Auges ist die Linse, die über einander lagernden Schichten derselben machen sie wenn auch nicht vollkommen doch in hohem Grade aplanatisch. Wird die Linse durch Krankheit trübe und undurchsichtig, so können auf der hinter ihr liegenden Netzhaut keine Bilder mehr entstehen und man ist daher blind. Diese Krankheit ist der

graue Staar, der dadurch gehoben wird, daß man die störende Linse entfernt. Nach dem Staarstechen entbehrt das Auge einen Hauptbestandtheil, und wenn auch die Lichtstrahlen wieder bis auf die Netzhaut vordringen können, so entstehen darum noch keine Bilder. Man ersetzt nun die natürliche Linse durch eine künstliche, die in der Brille vor das Auge gesetzt wird (Staarbrille). Ist der Sehnerv gelähmt, so können zwar Bilder auf der Netzhaut entstehen, aber es gebricht hier an der Fortleitung der Wahrnehmung zum Gehirn und man ist wieder blind. Dieses Leiden ist der schwarze Staar, dessen Hebung wenn nicht unübersteiglichen doch jedenfalls sehr bedeutenden Schwierigkeiten unterliegt. Die Aderhaut wirkt wie eine schwarze Tapete, die die hintere Augenhöhle überzieht und die von der Netzhaut u. s. w. auf sie reflectirten Strahlen absorbirt. Es gibt einzelne Individuen, denen, wie dieses auch bei den weißen Mäusen, Kaninchen, Pferden u. s. w. der Fall ist, alles Pigment fehlt, bei denen also Körpertheile, wie Haare und Haut weiß erscheinen und die man Kakerlaken oder Albinos nennt. Bei diesen Albinos ist auch die Aderhaut weiß; sie absorbirt das unregelmäßig reflectirte Weiß nicht und verhindert das deutliche Sehen. Das Loch in der Iris, die Pupille, ist nicht immer von gleicher Größe. In der Dunkelheit erweitert es sich und läßt daher mehr Strahlen in den Hintergrund des Auges dringen, wodurch also die Möglichkeit auf die Netzhaut einen Reiz auszuüben vergrößert wird. In der Helle zieht sich die Iris zusammen, die Pupille wird kleiner, denn behielte sie ihre vorige Größe, so würde eine zu große Wirkung auf die Netzhaut ausgeübt, das Auge würde geblendet und es werden daher von den (wegen der nicht ganz vermiedenen sphärischen Aberration) weniger brauchbaren Randstrahlen um so mehr ausgeschlossen, je stärker das Licht ist.

§. 164. Nach §. 148 entsteht durch die Wirkung einer Linse in einiger Entfernung von derselben ein Bild eines auf der entgegengesetzten Seite der Linse befindlichen Objectes, welches als Lichtquelle dient, und nach §. 163 kommt die Linsenwirkung auch dem Auge zu, weßhalb die auf jene bezüglichen Verhältnisse auch auf letztere ihre Anwendung finden. Die Linse entwirft in einer von ihrer Brennweite und von der Entfernung des Objectes abhängigen Distanz ein verkehrtes Bild des letzteren, das auf einem Schirme aufgefangen werden kann. Bei dem Auge vertritt die Netzhaut die Stelle des Schirmes, und es erfolgt ein deutliches Sehen, wenn das Bild möglichst scharf ist d. i. wenn die Netzhaut sich an derjenigen Stelle befindet, wo das Bild entsteht. Bringt man bei der Linse den Schirm näher oder ferner von derselben an, als die Vereinigungsweite der Strahlen ist, so erhält man der Zerstreuungskreise wegen kein scharfes Bild mehr, und ebenso sieht man mit Hülfe des Auges das Object nicht mehr deutlich, wenn die Vereinigung der Strahlen vor der Netzhaut stattfindet oder erst hinter ihr eintreten würde. Ist das Object der Linse sehr nahe, so

ist das Bild weit entfernt, rückt man das Object weiter weg, so kommt das Bild näher her. Ist der betrachtete Gegenstand dem Auge sehr nahe, so wird sein Bild in bedeutende Entfernung von der Linse fallen und da die Netzhaut vor diesem Vereinigungspuncte liegt, werden die Zerstreuungskreise sehr groß. Man sieht daher das Object entweder gar nicht mehr, oder höchst undeutlich. Entfernt man das Object weiter und weiter von dem Auge, so werden die Zerstreuungskreise kleiner und kleiner, das Bild wird deutlicher und endlich wenn die Zerstreuungskreise verschwunden sind, hat das Bild das Maximum von Schärfe erlangt. Die Entfernung, in der sich jetzt das Object vom Auge befindet, heißt die **deutliche Sehweite**; sie schwankt bei den einzelnen Individuen zunächst wegen des ungleichen Brechungsvermögens der das Auge zusammensetzenden Medien. Rückt man das Object noch weiter vom Auge weg, so entsteht das Bild vor der Netzhaut und man erhält nun wieder Zerstreuungskreise auf der letzteren, man sieht nicht mehr deutlich. Im normalen Falle beträgt die deutliche Sehweite 9—10 Zolle, ist sie kleiner, so heißt das Auge **kurzsichtig**, ist sie größer, so wird das Auge **weitsichtig**. Neben dieser Analogie mit der Linse hat jedoch unser Gesichtsorgan einen Vortheil vor dem todten Apparate; es kann sich für verschiedene Entfernungen einrichten, hat eine **Accommodationsfähigkeit**, vermöge deren es die deutliche Sehweite innerhalb engerer oder weiterer Gränzen vergrößern oder verkleinern kann. Es geschieht dieses mit Hülfe von eigenen Muskeln, welche die Linse des Auges, den hauptsächlich brechenden Bestandtheil desselben vor und zurückschieben, also von der Netzhaut entfernen oder ihr näher bringen, sowie durch eine bei dem Betrachten naher Gegenstände verstärkte Krümmung der vordern Linsenfläche.

Die Kurzsichtigkeit (Myopie) ist vorzugsweise bei jüngeren Individuen häufig, die Weitsichtigkeit (Presbyopie) bei den älteren Leuten. Mit zunehmenden Jahren wird das Auge immer weitsichtiger. Von großem Einflusse ist der Gebrauch, den man von dem Auge macht, weßhalb Jäger, Seeleute u. s. w. weitsichtiger sind als die Männer der Wissenschaft. Man kann die deutliche Sehweite und die Größe des Accommodationsvermögens leicht bestimmen, wenn man ein Lineal, auf dem der Länge nach ein dünner schwarzer Strich angezeichnet ist, dicht vor das Auge hält. Man sieht in diesem Falle, wenn man über diesen Strich wegvisirt, diesen in einer bestimmten Entfernung deutlich, scharf begränzt und schwarz; außerhalb und innerhalb dieser Entfernung wird er breiter und breiter und dabei immer blasser. Da wo man ihn deutlich und schwarz sieht, ist die deutliche Sehweite; doch findet man leicht, daß dieser Punct je nach der Stärke des Accommodationsvermögens

weiter hinaus und weiter herein rücken kann. Man sieht den Strich jedesmal nur auf einer ganz kurzen Strecke schwarz, was beweist, daß die jeweilige Einrichtung des Auges nur für ganz bestimmte Entfernungen angepaßt ist. Im Allgemeinen haben die normalen Augen das bedeutendste Accommodationsvermögen und ihr Auge sammelt noch Strahlen auf der Netzhaut selbst, die nahe oder ganz parallel sind. Andererseits sind die Kurzsichtigen im Vortheil, weil sie die betrachteten Objecte in größerer Nähe sehen können, denn weil das Licht (§. 130) an Intensität abnimmt wie das Quadrat der Entfernung wächst, sehen sie die Objecte heller. Der Fehler der Kurzsichtigkeit beruht darauf, daß die Linse die Strahlen zu früh vereinigt und man hilft ihm dadurch ab, daß man die Gegenstände durch eine Concavlinse (in der Brille) betrachtet. Die Wirkung der Concavlinse ist der des Auges entgegengesetzt und schwächt dessen Thätigkeit bis zum gewünschten Maaße. Bei dem Weitsichtigen ist die Thätigkeit des Auges zu gering und man hilft durch eine andere Brille, eine Convexlinse, nach.

§. 165. Wir fühlen das in unserem Auge entstandene Netzhautbildchen und schließen aus diesem in uns stattfindenden Vorgange auf einen außerhalb befindlichen Gegenstand, der ihn veranlaßt. Wir suchen diesen Gegenstand in jener Richtung, aus welcher derjenige unter den Strahlen, der vollkommen ungebrochen durchgeht, herkommt. Dieser Punct, der bei der einfachen Linse in deren Mittelpunct c (Fig. 175) ist, ist bei dem aus verschiedenen Medien zusammengesetzten Auge etwas vor dem geometrischen Mittelpuncte der Lederhautkugel zwischen diesem und der Linse gelegen. Ist c (Fig. 194) dieser Punct, so bekommt das Auge das Bildchen ab des Objectes AB und man sieht den Punct A in der Richtung acA also oben, den Punct B in der Richtung bcB

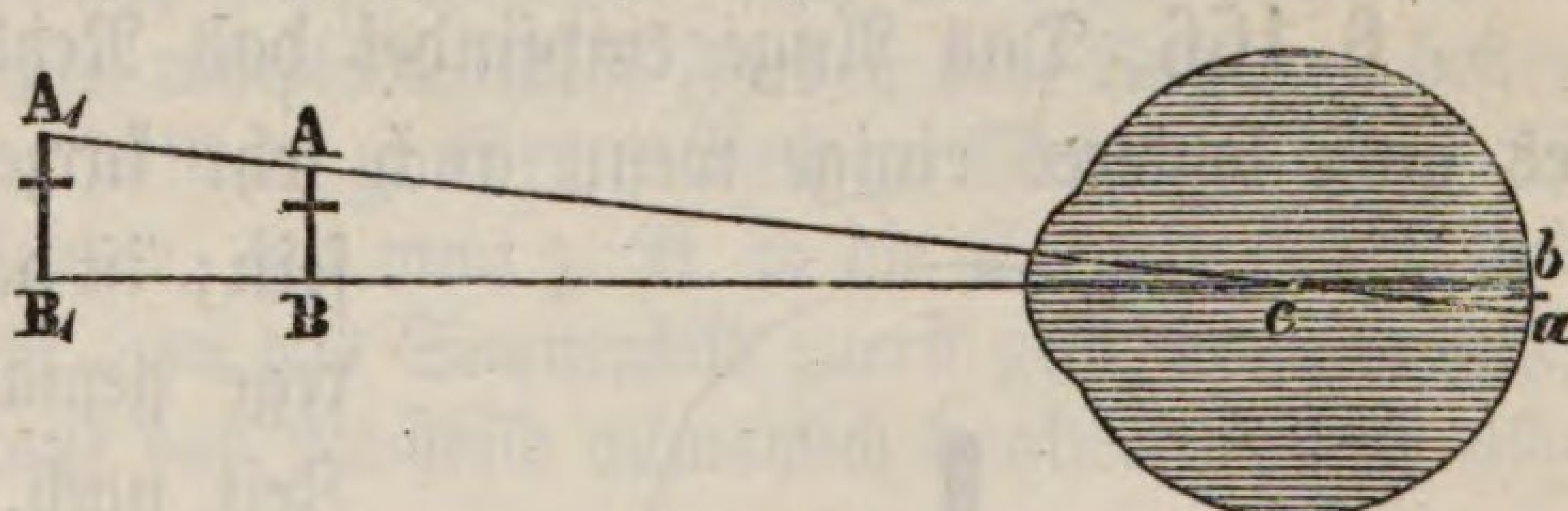


Fig. 194.

also unten. So kommt aus dem Umstande, daß man die gesehenen Objecte nach außen verlegt, der weitere, daß man die gesehenen Objecte trotz des verkehrten Bildes aufrecht sieht. Je größer der Winkel bca, der Gesichtswinkel wird, um so beträchtlicher ist das Netzhautbildchen, und die Größe dieses letzteren bedingt die scheinbare Größe des gesehenen Objectes. Je geringer die Entfernung desselben, um so bedeutender ist seine scheinbare Größe, (denn AB und A_1B_1 haben, obwohl an Ausdehnung verschieden, den gleichen Gesichtswinkel) und aus dem Gesichtswinkel eines gesehenen Gegenstandes von bekannter Größe schließen wir auf dessen Entfernung. Da mit der Abnahme des

Gesichtswinkels auch ein Kleinerwerden des Netzhautbildchens verbunden ist, die Netzhaut aber eine zwar sehr bedeutende aber nicht eine absolut feine Textur hat, so kommt man endlich an eine Gränze, jenseits derer ein Object nicht mehr sichtbar ist. Diese Gränze schwankt übrigens bedeutend je nach der Beleuchtung des Gegenstandes und seinem Hintergrunde. Für die Fixsterne, deren Hintergrund sehr dunkel ist, fällt strenge genommen die Gränze weg, insofern man nur die Sichtbarkeit überhaupt berücksichtigt, doch ist sie vorhanden, denn man sieht den Stern nur als leuchtenden Punct; er ist aber eine große Kugel, deren Detail man dessen Kleinheit wegen nicht unterscheiden kann. Unter gewöhnlichen Umständen hört die Sichtbarkeit ungefähr auf, wenn der Gesichtswinkel unter 30 Secunden sinkt. Der Kurzsichtige kann die Gegenstände in größerer Nähe, also unter größerem Gesichtswinkel sehen, er sieht daher in der Nähe besser als ein Weitsichtiger.

Für die Beurtheilung der Entfernung ist wenigstens in dem einzelnen Auge eine eigene Einrichtung nicht vorhanden, und wir täuschen uns daher leicht darüber. Das Kind greift nach dem Monde wie nach den Gegenständen in seiner Umgebung, und erst nach und nach bekommt es einige Uebung. Viel trägt bei größeren Entfernungen der Umstand bei, daß wir irgend ein Object hinter andern sehen, deren Entfernung uns bekannt ist, so daß wir durch Vergleichung zu einer annähernden Schätzung kommen; doch fehlt auch diese weit, wenn große Distanzen vorkommen, wie dieses bei den Gestirnen der Fall ist.

§. 166. Das Auge empfindet das Netzhautbild nicht momentan, es muß letzteres einige wenn auch sehr kurze Zeit hindurch vorhanden sein; ist dagegen ein Eindruck einmal rege gemacht, so dauert er einige Zeit nach.

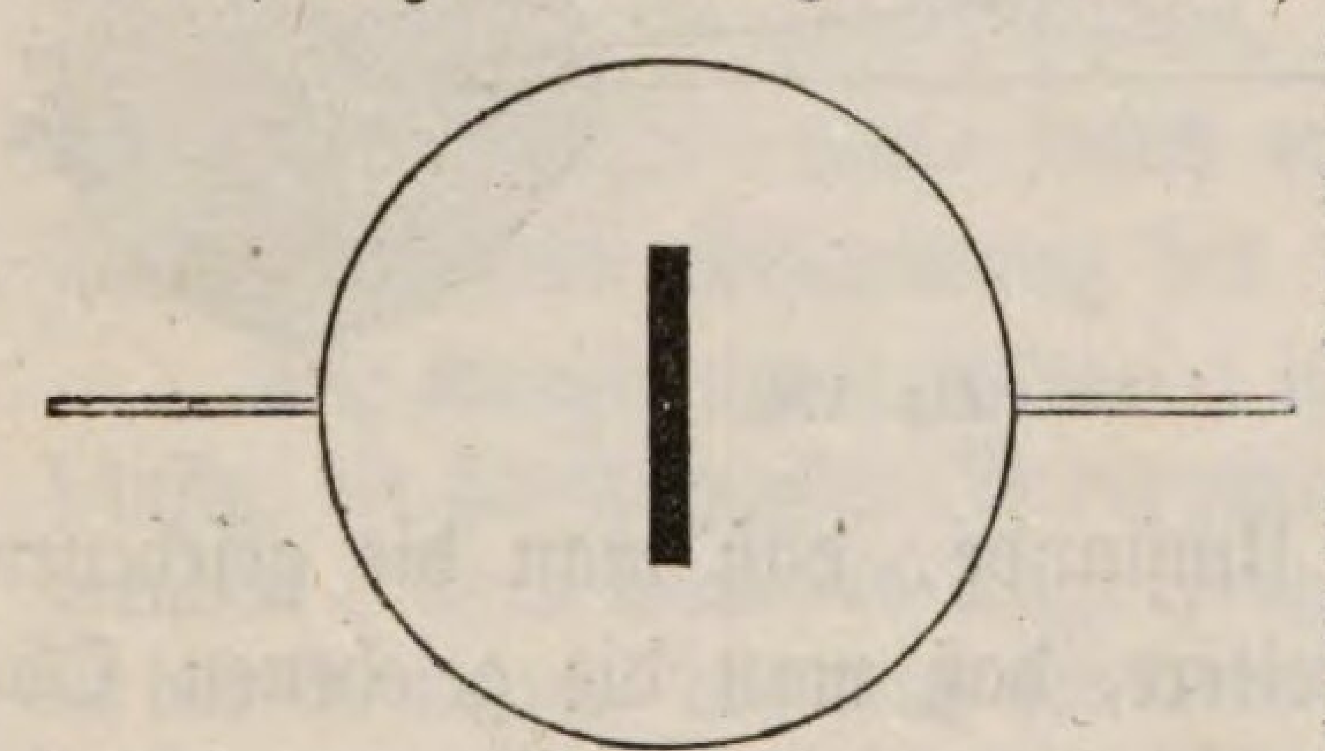


Fig. 195 a.

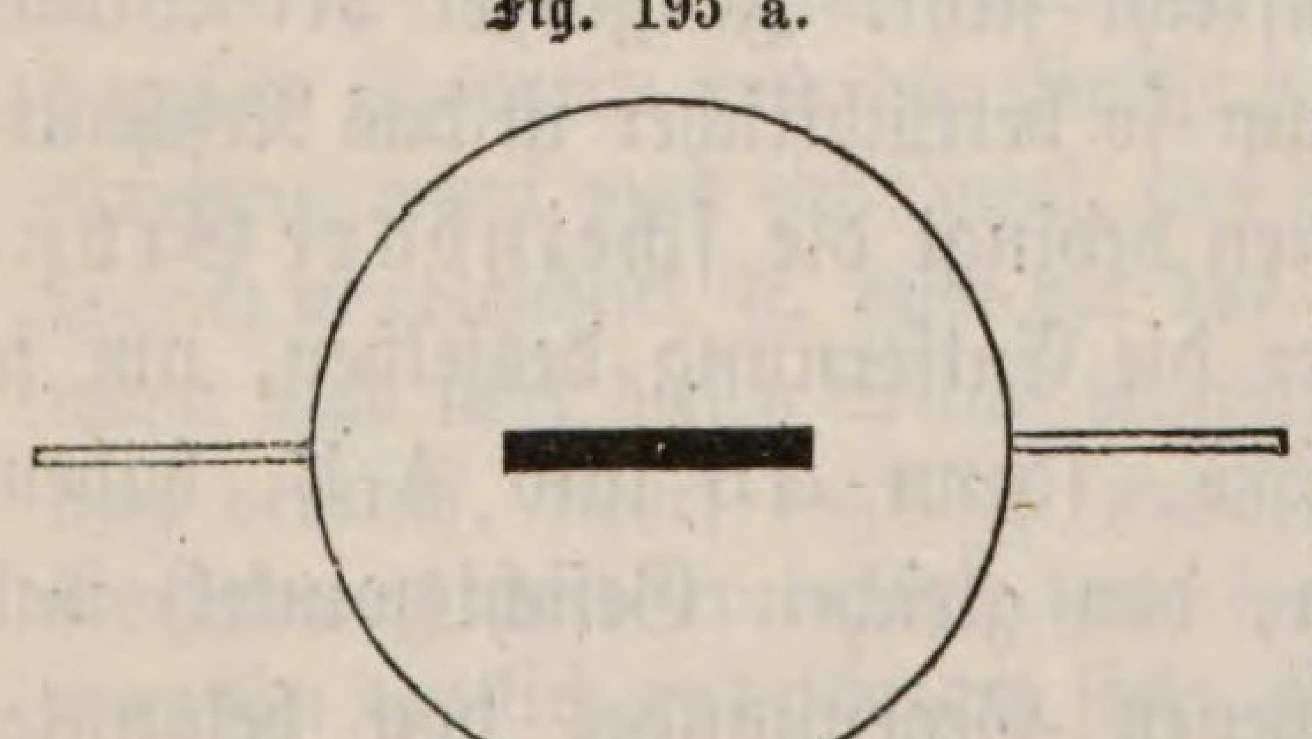


Fig. 195 b.

Eine im Fluge befindliche Büchsenkugel kann nicht gesehen werden, wenn sie an dem Beobachter vorbeigeht, weil ihr Bild zu schnell die Netzhaut durchfliegt. Dreht man eine weiße Scheibe von Pappe, auf deren einer Seite sich ein schwarzer verticaler Streifen, auf deren anderer sich ein schwarzer horizontaler befindet (Fig. 195 a und b) schnell um die Handhaben, so sieht man ein schwarzes Kreuz. Man ist nicht im Stande, die Speichen eines sich schnell bewegenden Rades zu unter-

scheiden; man nimmt nur einen sich über das ganze Rad ausdehnenden Gesammteindruck wahr.

§. 167. Empfindet eine Stelle der Netzhaut längere Zeit hindurch das gleiche Bild, so wird sie ermüdet, und diese Ermüdung (Blendung) tritt um so rascher ein, je intensiver das von dem gesehenen Gegenstande ausgehende Licht ist. Man kann darum nicht lange in die Sonne schauen. Ist der betrachtete Gegenstand farbig, so wird der getroffene Theil der Netzhaut für diese Farbe abgestumpft und nimmt sie nicht mehr so leicht wahr als eine andere. Sieht man z. B. ein lebhaft gefärbtes Quadrat von Papier, das auf einer weißen Fläche liegt, längere Zeit unverrückt an, und schaut man dann nach der nebenstehenden Fläche, so sieht man auf derselben ein anderes Quadrat, das die Complementärfarbe des erstern hat. Man würde ohne Ermüdung Weiß sehen, da man aber ermüdet ist, kann man alle Farben leichter unterscheiden als die vorher betrachtete und da Weiß alle Farben enthält, so sieht man diese, weniger der zuerst gesehenen, also die Complementärfarbe. Man sieht hier eine Farbe, die eigentlich nicht vorhanden ist und die man nur des vorübergehenden abnormen Zustandes des Auges wegen wahrzunehmen glaubt. Man nennt solche Wahrnehmungen subjective.

Daraus, daß das Auge von der einen Farbe ermüdet die Complementärfarbe selbst hervorruft, danach gewissermaßen sucht, wird der Umstand erklärt, daß Zusammenstellungen complementärer Farben dem Auge am besten zusagen, zusammenstehen, so Roth zu Grün, Gelb zu Violett u. s. w. Ist das Auge durch Weiß geblendet, hat man z. B. in die Sonne gesehen und schließt man es dann, so sieht man das Sonnenbild zuerst gelb, dann orange, roth, violett und blau, worauf das Nachbild allmählich dunkler werdend endlich verschwindet.

Es ergibt sich daraus, daß das Nachklingen der einzelnen Farben von verschiedener Dauer ist und aus der Aufeinanderfolge der Nuancen läßt sich schließen, daß das blaue Licht zuerst rasch dann langsam abnimmt, während umgekehrt das gelbe zuerst langsam, dann schnell schwächer wird und das rothe zwischen beiden die Mitte hält. So lange das Nachbild nicht erloschen ist, so lange ist auch die Fähigkeit der Netzhaut, neue Eindrücke zu empfangen, geschwächt, und je rascher das Nachbild einer Farbe verschwindet, um so eher muß man dieselbe wieder sehen können. Blickt man daher mit dem durch die Sonne geblendeten Auge auf eine weiße Wand, so gewahrt man die oben angeführte Farbenfolge in umgekehrter Ordnung.

§. 168. Sieht man mit dem einen Auge etwa mit dem rechten nach einem Objecte A, so richtet man das Auge so, daß die von diesem

A auf die Netzhaut gezogene Gerade durch den Mittelpunct des Auges geht, man richtet die Augenaxe auf A und das Bildchen entsteht auf dem Netzhautpuncte a (Fig. 196). Während das rechte Auge die Axenrichtung aA erhält, nimmt die Axe des linken Auges die Richtung Aa_1 an, und es resultirt daraus eine Convergenz der beiden Augenaxen. Beide Axen schneiden sich unter einem Winkel aAa_1 und die Größe dieses Winkels dient als weiteres Hülfsmittel zur Bestimmung der Entfernung von A, weßhalb man bei Abschätzung von Entfernungen viel eher Täuschungen ausgesetzt ist, wenn man nur mit einem einzigen Auge beobachtet.

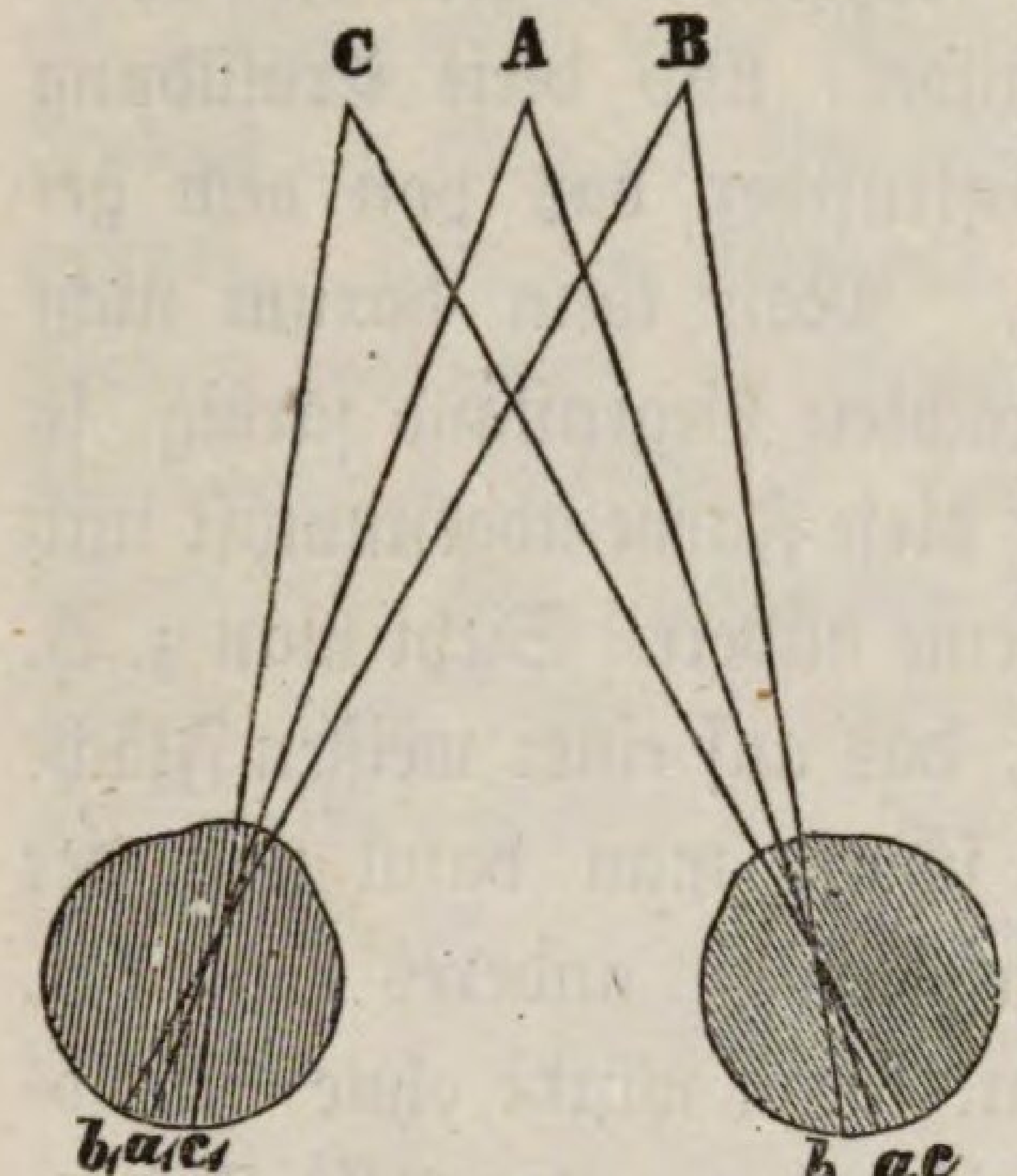


Fig. 196.

Obwohl man in jedem der beiden Augen ein Bild von A erhält, so sieht man diesen Gegenstand doch nur einfach, was daraus erklärt wird, daß die in a und a_1 getroffenen Fasern der beiden Sehnerven sich vor dem Eintritte in das Gehirn vereinigen, und in der That beobachtet man eine Kreuzung der beiden Nerven hinter den Augen. Dadurch werden die Puncte a und a_1 zu correspondirenden, und die auf sie gemachten Eindrücke geben dem Bewußtsein nur einen einzigen Totaleindruck. In gleicher Weise sind auch die Puncte b und b_1, c und c_1 correspondirend, und man sieht daher einen ausgedehnten Gegenstand, von dem A, B und C einzelne Puncte sind, obwohl man ihn mit 2 Augen betrachtet, nur einfach. Untersucht man die Reihenfolge der Puncte a, b und c und a_1, b_1 und c_1, so sieht man, daß sie in beiden Augen dieselbe ist und diejenigen Netzhautpuncte, die bei dem einen Auge nach außen liegen, entsprechen bei dem andern Auge solchen, welche gegen die Nase zugekehrt sind. Betrachtet man 2 in verschiedener Entfernung befindliche Puncte A und B (Fig. 197) gleichzeitig mit beiden Augen, und sind deren Axen auf B gerichtet, so sind die Puncte b und b_1 correspondirende. Die Bilder von A fallen auf a und a_1, welche beide von b und b_1

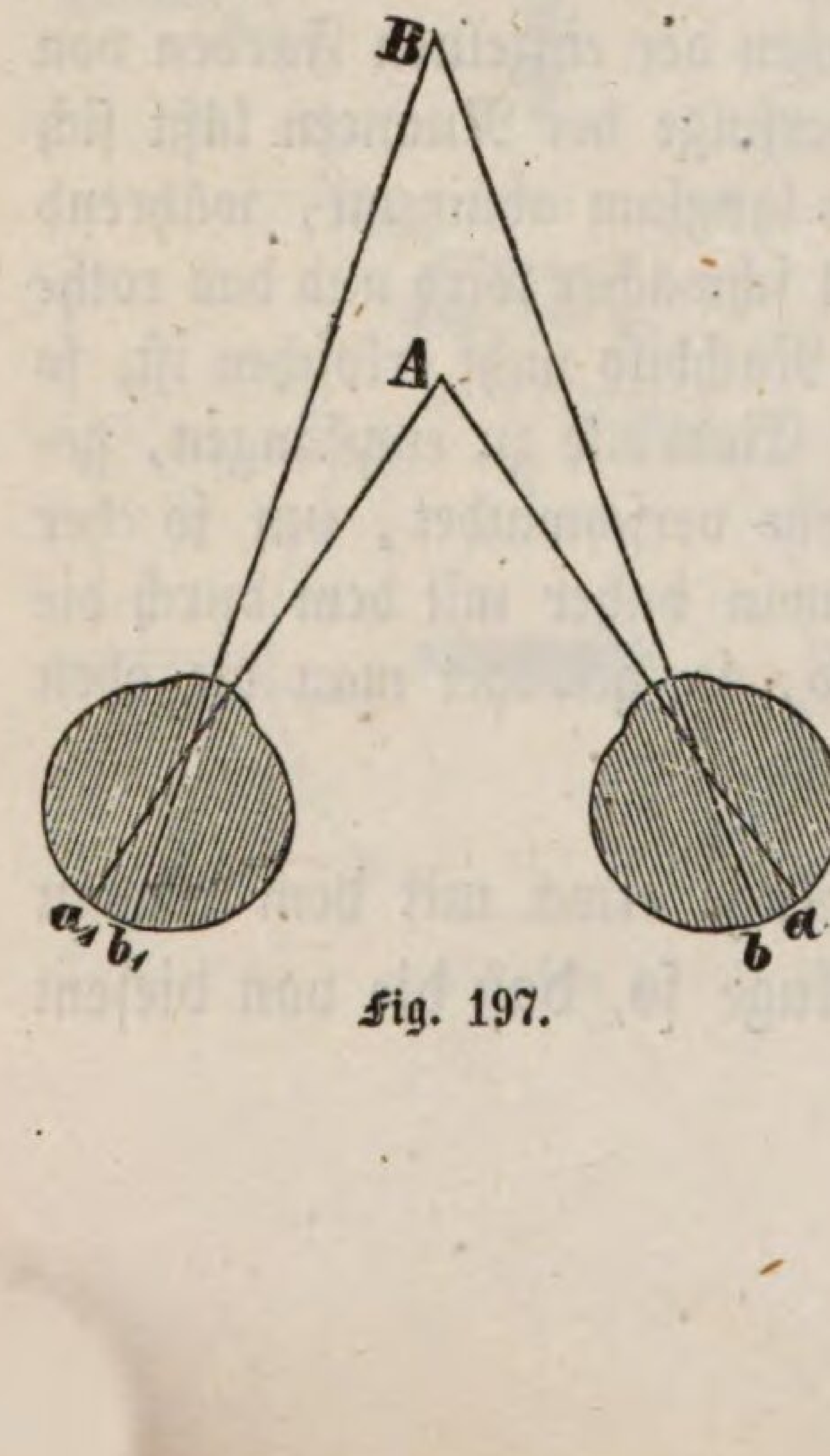


Fig. 197.

aus gegen außen liegen und daher nicht correspondirende sein können, denn a hat seinen entsprechenden Punct rechts von b_1, und a_1 hat den seinigen links von b. Aus diesem Grunde sieht man A doppelt. Hält man 2 Finger in verschiedener Entfernung vor die Augen und betrachtet man den ferneren, so sieht man den näheren doppelt. Richtet man aber die Augenaxen auf den näheren, so erscheint der fernere doppelt, denn in diesem Falle (Fig. 198) sind a und a_1 correspondirende Puncte, die b und b_1 jedesmal auf der Innenseite haben. Letztere sind also auf verschiedenen Seiten von a und a_1 und können daher nicht correspondirend sein.

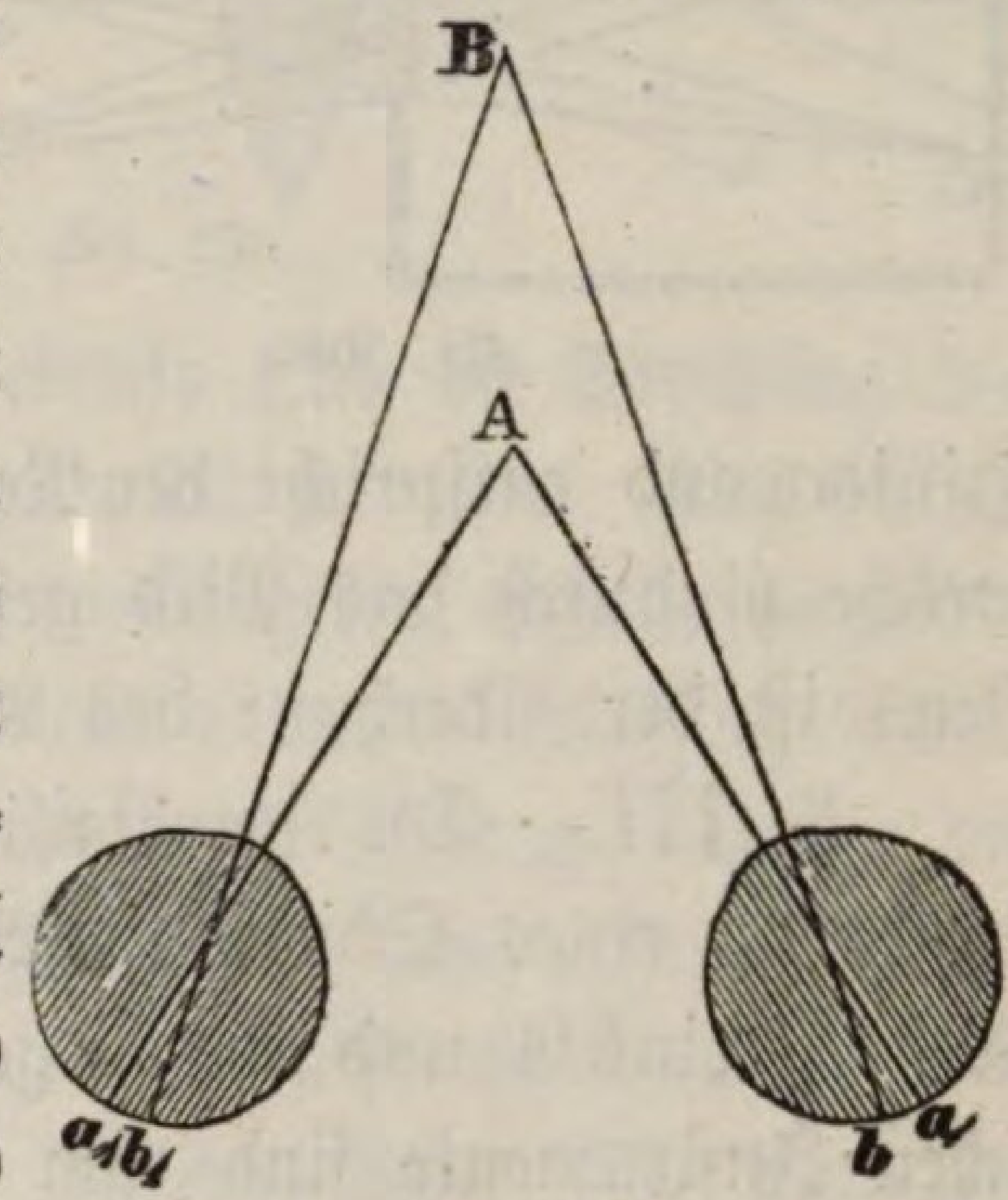


Fig. 198.

§. 169. Ist der betrachtete Gegenstand nicht eine Fläche, sondern ein Körper, so sieht man ihn mit jedem Auge von einer andern Seite und die beiden auf correspondirende Stellen fallenden Netzhautbildchen fallen verschieden aus, wie man schon daraus erkennt, daß die Bilder der Puncte a und b (Fig. 199) nur je in einem Auge vorkommen, wenn C, was hier angenommen werden soll, undurchsichtig ist. Diese Verschiedenheit der Netzhautbildchen an den correspondirenden Stellen bewirkt, daß der betrachtete Gegenstand als Körper gesehen wird und nicht als Fläche, und darauf beruhen die Effecte des Stereoscops, in welchem man 2 Zeichnungen sieht, von denen die eine so aufgenommen ist, wie man den Gegenstand mit dem einen Auge sieht, während die andere Zeichnung die Ansicht des andern Auges repräsentirt.

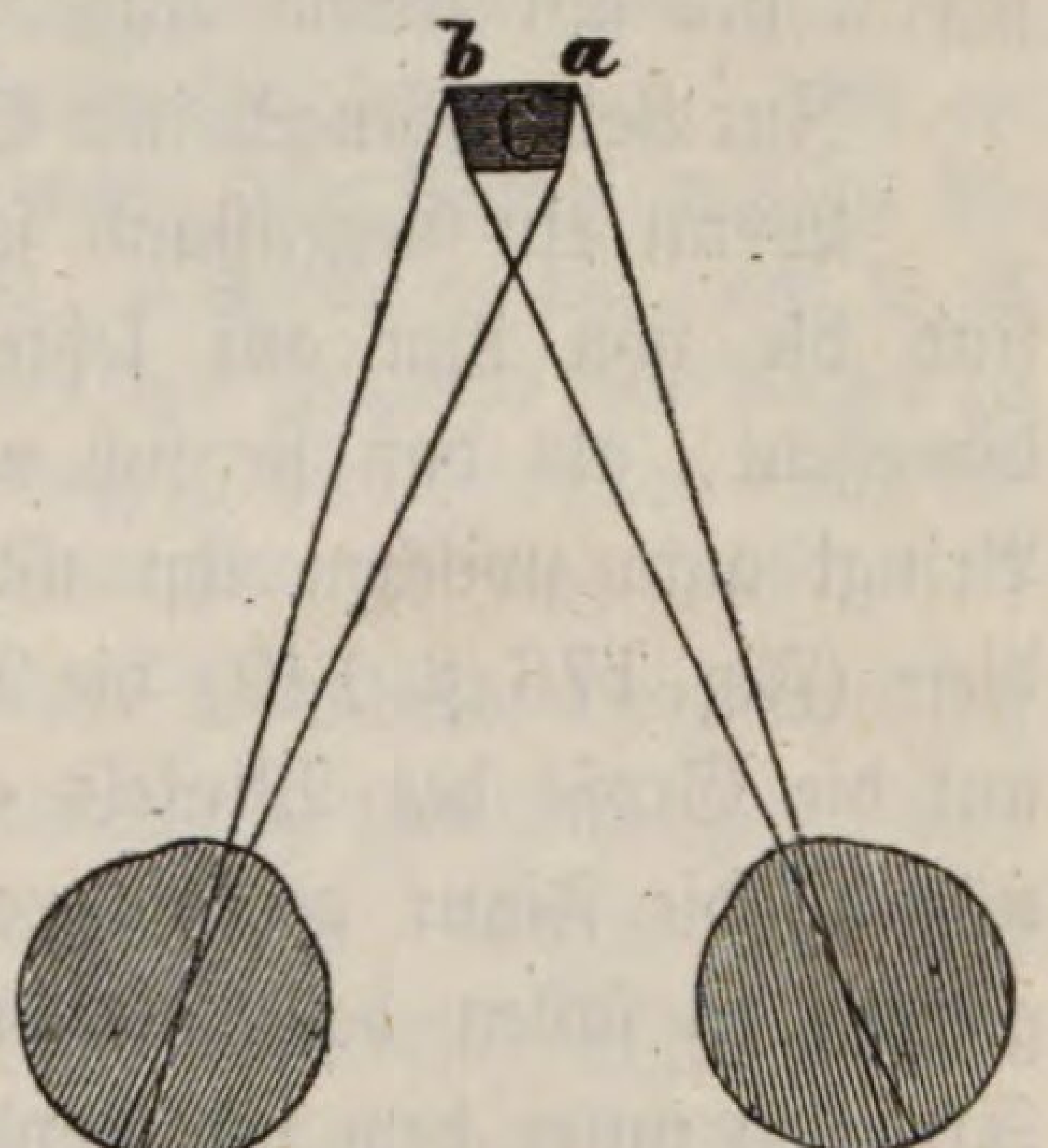


Fig. 199.

Je weiter die betrachteten Objecte entfernt sind, um so geringer wird die Differenz der beiden Netzhautbilder, und so kommt es, daß endlich die Körper als Flächen erscheinen. So zeigen sich Sonne und Mond als Scheiben, ein fernes Gebirge erscheint wie ein am Horizonte ausgebreitetes Gemälde.

§. 170. Die Camera obscura ist ein dem Auge nachgebildeter Apparat. In der einen Wand eines Kastens befindet sich als Reprä-

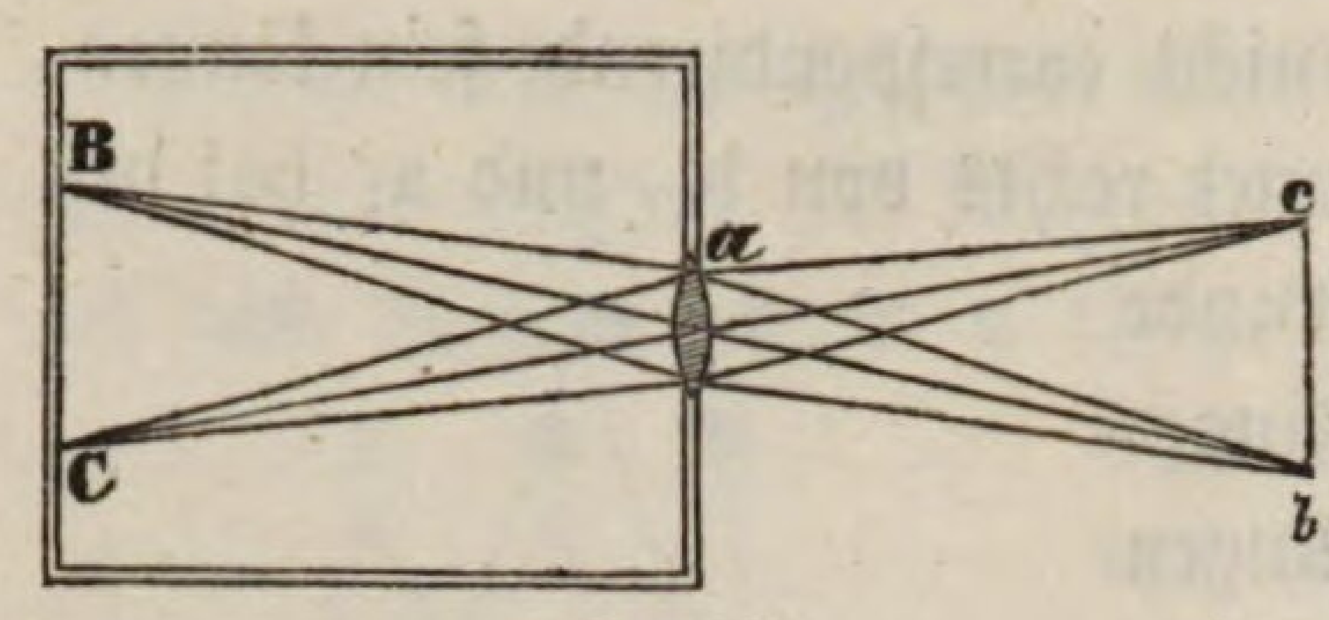


Fig. 200.

sentantinn der brechenden Medien des Auges eine Convex-Linse a (Fig. 200), welche die von dem Objecte bc ausgehenden Strahlen auf der Hinterwand zu einem umgekehrten Bilde BC vereinigt. Diese Hinterwand entspricht der Netzhaut und ist eine matte Glastafel, durch welche hindurch das Bild gesehen werden kann. Das Innere des Kastens ist der Aderhaut des Auges entsprechend schwarz angestrichen.

§. 171. Die gewöhnlichsten Umstände, welche die genaue Betrachtung eines Objectes verhindern, sind die zu geringe Größe des Gesichtswinkels und die zu geringe Beleuchtung, und die meisten optischen Instrumente sind zum Zwecke der Hebung dieser Mißstände eingerichtet. Erblickt man mit Hülfe eines optischen Instrumentes zwei Puncte unter einem 10mal größeren Winkel oder was bei der immer geringen Größe der Winkel dasselbe ist, erblickt man die Distanz zweier Puncte 10mal so groß als mit freiem Auge, so hat man eine zehnfache Linearvergrößerung, welche sich von der quadratischen oder Flächenvergrößerung dadurch unterscheidet, daß man mit letzterer angibt, wie vielmal eine gegebene Fläche mit Hülfe des Instrumentes größer erscheint als mit freiem Auge.

Zur Betrachtung kleiner Objecte benützt man die Convexlinse (Loupe).

Wenn ein Gegenstand sehr nahe vor das Auge gebracht wird, so sind die von ihm auf letzteres fallenden Strahlen nach §. 164 zu divergent, als daß sie sich noch auf der Netzhaut vereinigen könnten. Bringt man zwischen ihn und das Auge eine Convexlinse, so wird diese (Fig. 176 §. 149) die Divergenz der Strahlen vermindern, aber auf die Größe des Winkels acb ohne Einfluß sein. Denkt man sich nämlich die Figur gehörig verkleinert und ein Auge hinter die Linse gesetzt, so fallen bei Abwesenheit der Linse die von a ausgehenden Strahlen unter dem bedeutenden Divergenzwinkel cad auf das Auge, und letzteres ist nicht im Stande sie auf der Netzhaut zu vereinigen, kann dieses aber thun, wenn durch die Linse der Divergenzwinkel in cAe umgewandelt wird, vorausgesetzt daß dieser Winkel der Sehweite des Auges entspricht. Nehmen wir zunächst an, die Sehweite des Auges sei so, daß letzteres eben im Stande ist, parallele Strahlen auf der Netzhaut zu vereinigen, und das Object befinde sich in der Entfernung des Brennpunctes der Linse, so lassen sich die Verhältnisse

durch die Fig. 201 darstellen. Die sämmtlichen Strahlen, die von a ausgehen, sind nach dem Durchgange durch

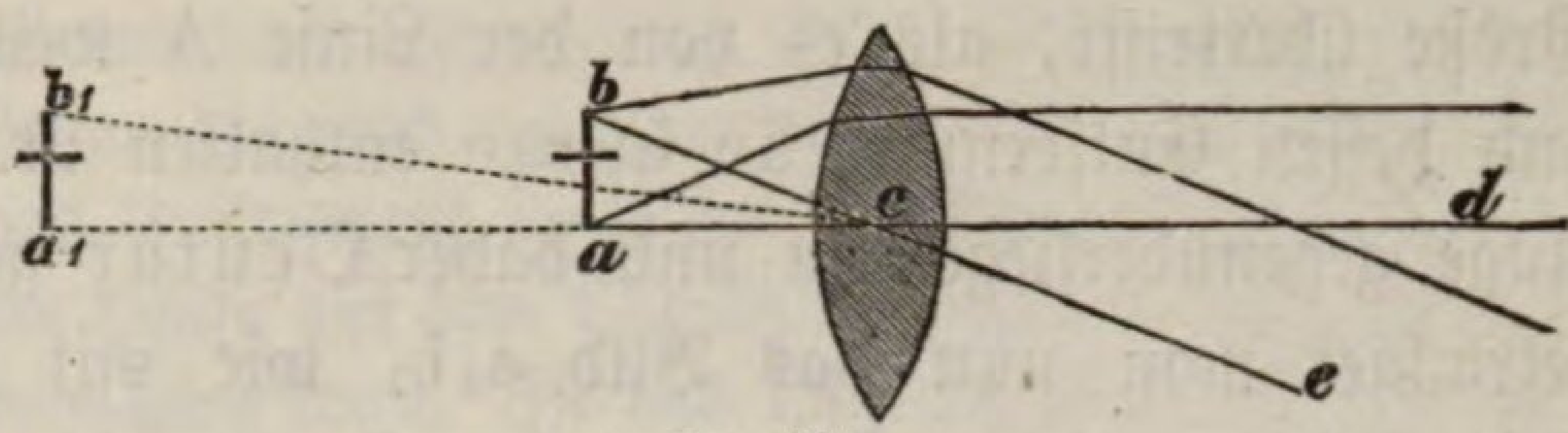


Fig. 201.

die Linse der Geraden ad parallel, und ebenso sind die Strahlen, die von b ausgehen nach dem Durchgange parallel mit ce. Das hinter der Linse befindliche Auge kann, wie wir vorausgesetzt haben, parallele Strahlen auf der Netzhaut vereinigen, also a und b deutlich sehen. Das Auge sucht die gesehenen Puncte in der Richtung, welche die Strahlen vor dem Eintritte in dasselbe hatten, sucht also a in der Richtung dc und b in der Richtung ec, sieht also ab deutlich und sieht es unter dem Gesichtswinkel dce. Ist das Auge für parallele Strahlen nicht geeignet, braucht es der Kurzsichtigkeit wegen mehr oder weniger divergente Strahlen, so hat man nur die Linse dem Objecte etwas zu nähern und dann treten auch die von den einzelnen Puncten ausgehenden Strahlen divergent aus der Linse, um von dem Auge auf der Netzhaut vereinigt zu werden.

Um die Vergrößerung annähernd zu schätzen, kann folgende Betrachtung dienen. Ist a_1c die Sehweite des Auges, so sieht letzteres ohne Linse das Object $a_1b_1 = ab$ unter dem Gesichtswinkel a_1cb_1, denn man muß den Gegenstand bis a_1 entfernen, wenn man ihn deutlich sehen will. Mit der Linse dagegen ist es ihm möglich, denselben unter dem Winkel acb zu betrachten, und da bei kleinen Winkeln $\angle\, acb : \angle\, a_1cb_1 = ca_1 : ca$, so ist die Vergrößerung (nahezu) wie das Verhältniß der Sehweite des Auges zu der Brennweite der Linse. Diese Vergrößerung ist die lineare, die Flächenvergrößerung ist dem Quadrate der Linearvergrößerung gleich.

§. 172. Da die Loupen, wenn sie eine bedeutende Vergrößerung hervorbringen sollen, eine sehr kleine Brennweite haben müssen, und die Handhabung solcher Linsen höchst unbequem ist, bedient man sich um starke Vergrößerungen zu erzielen des zusammengesetzten Microscops. Bei diesem Instrumente befindet sich dem Objecte ab (Fig. 202) gegenüber die achromatische Linse A, das Objectiv, und die von ab ausgehenden und auf das Objectiv fallenden Strahlen vereinigen sich hinter demselben zu dem verkehrten Bilde a_1b_1, welches ab so viel mal an

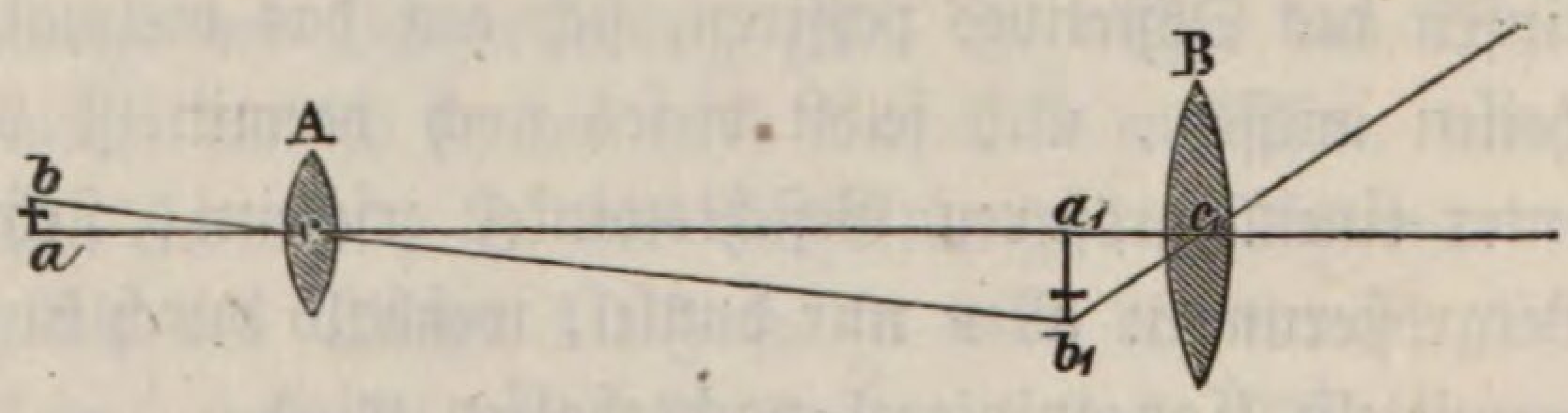


Fig. 202.

Größe übertrifft, als es von der Linse A weiter entfernt ist als ab und dessen Entfernung ac in a_1c enthalten ist. Mit Hülfe der dem Auge gegenüberliegenden und daher Ocular genannten Convexlinse B betrachtet man nun das Bild a_1b_1 wie mit einer Loupe, und der Unterschied zwischen der einfachen Loupe und dem zusammengesetzten Microscope beruht daher darauf, daß man mit der Loupe das Object unmittelbar ansieht, während man bei dem Microscope zuerst ein vergrößertes Bild des Objectes hervorruft, und dann erst dieses vergrößerte Bild noch mit der Loupe betrachtet. Man sieht das Object unter dem Gesichtswinkel $a_1c_1b_1$ und die erzielte Wirkung des Microscops ergibt sich annähernd, wenn man die Vergrößerung des Objectives mit der des Oc、lares multiplicirt.

Die Objective sind achromatische Linsensysteme, in denen die Farbenzerstreuung der Convexlinse durch eine Concavlinse von anderem Materiale ausgeglichen ist. Bei den Ocularen zieht man die Achromatisirung vermittelst zweier Convexlinsen vor, von welcher oben §. 162 die Rede war. Wenn hier die von demselben Puncte ausgehenden ungleichfarbigen Strahlen parallel unter einander die Linse verlassen und so in's Auge treten, so vereinigt sie letzteres an demselben Puncte der Netzhaut, wodurch die Farbeneindrücke neutralisirt werden. Für das kurzsichtige Auge muß das Ocular dem Bilde näher gestellt werden, damit die zusammengehörenden Strahlen etwas divergiren.

Für starke Vergrößerungen müssen die Objective eine sehr kurze Brennweite haben, sie müssen daher sehr stark gekrümmt, folglich klein sein. Da nun durch eine kleine Linse nur wenig Licht hindurchkann und die Bilder dadurch lichtschwach werden, so zieht man vor, durch mehrere hinter einander stehende Linsensysteme von geringerer Krümmung, die das Licht der Reihe nach passiren muß, zu demselben Resultate zu gelangen, zu dem eine einzige stärkere aber um so kleinere Linse führen würde. Es gewährt dieses außerdem den Vortheil, daß man je nach der Zahl und Auswahl der als Objective benützten Systeme die Vergrößerung des Microscops beliebig ändern kann. Weil die Lichtstrahlen, die von dem Objecte ausgehen und die immer noch kleinen Linsen des Objectives passiren, sich auf das vielmal größere Bild vertheilen müssen, und selbst dieses noch vermittelst der Ocularwirkung unter einem größeren Gesichtswinkel erscheint, sieht man bei starken Vergrößerungen alles nur dunkel, weßhalb durch künstliche Beleuchtung vermittelst Concavspiegel nachgeholfen wird.

Das Microscop muß möglichst achromatisch sein. Man prüft dasselbe am besten auf folgende Weise. Es wird ein ganz kleines Quecksilberkügelchen als Object benützt, und das Instrument so in der Nähe eines Fensters aufgestellt, daß man mit seiner Hülfe auf dem Quecksilberkügelchen das Spiegelbild des Fensterkreuzes beobachten kann. Ist das Objectiv nicht achromatisch, so hat das Fensterbild farbige Säume, die also bei einem achromatischen Glase fehlen müssen. Wenn man keine Lichtnebel wahrnimmt und das Bild bei Annäherung und Entfernung des Objectes von der Linse ungefähr gleich schnell verschwindet, so ist auch die sphärische Aberration vermieden.

Zur Deutlichkeit der Bilder ist nothwendig, daß man sowohl die Umrisse des Objectes, als auch das Detail scharf und genau sieht. Man beurtheilt nach ersterem die definirende, nach letzterem die penetrirende Kraft des Microscops und schätzt beide mit Hülfe von Probeobjecten. Für die definirende Kraft dienen die Haare der Hausmaus, auf denen man weiße Stellen scharf sehen muß, oder die Haare der Fledermaus, welche deutlich als aus kleinen Trichterchen zusammengesetzt erscheinen. Für die penetrirende Kraft dienen die Schuppen von den Flügeln eines Schmetterlings, der Hipparchia Janira, welche bei mittelmäßiger Vergrößerung Längenstreifen zeigen, zwischen denen sich bei guten Instrumenten und 300maliger Vergrößerung auch Querstreifen einstellen. Nobert hat auf Glas feine Striche angebracht, deren Entfernung in den einzelnen Gruppen 1000, 857, 735, 630, 540, 463, 397, 340, 292 und 225 Milliontel einer Pariser Linie betragen. Je mehr solche Gruppen durch ein Microscop in die einzelnen Linien zerlegt werden können, um so bedeutender ist die penetrirende Kraft.

Die von dem Microscope bewirkte Vergrößerung kann man auch durch den Versuch bestimmen, wenn man an die Stelle des Objectes einen feingetheilten Maaßstab (Micrometer) bringt und diesen betrachtet. Befindet sich nun in der deutlichen Sehweite ein anderer Maaßstab, den man gleichzeitig aber vermittelst des freien Auges beobachten kann, so gibt jedes Auge ein anderes Bild, da aber die beiden Bilder auf correspondirende Stellen der Netzhaut fallen, so haben sie sich gewissermaßen durchdrungen und man kann ganz gut bestimmen, wie viele Theile des vergrößert gesehenen Micrometers auf einen Theil des Maaßstabes gehen. Erscheinen nun z. B. 10 Micrometertheile in der Länge eines Zolles, gehen aber in der Wirklichkeit 1000 Theile desselben auf einen Zoll, so ist die Vergrößerung $= \frac{1000}{10} = 100$.

§. 173. Nach §. 148 verhalten sich die linearen Dimensionen von Object und Bild zu einander, wie ihre Abstände von der Linse. Geht man von diesem Satze aus, so zeigt sich, daß es, so lange Bilder entstehen, keine Gränze der Vergrößerung gibt. Je näher das Object der Linse gebracht wird, um so ferner wird das Bild entstehen, um so größer wird es sein. Beträgt z. B. die Entfernung des Objectes von der Linse 1 Linie, die des Bildes 10 Fuß, so wird die lineare Vergrößerung 1440 sein, und bei einer Ausdehnung des Objectes von

½ Linie bekommt das Bild eine solche von 5 Fuß. Wollte man nun ein solches Bild wie bei dem Microscop verwenden, so müßte das Instrument eine Länge von 10 Fuß und einen Durchmesser von 5 Fuß haben. Abgesehen von diesen colossalen Dimensionen ist es gar nicht möglich, ein solches Bild mit der Loupe (Ocular) zu übersehen. Wenn man solche Bilder entstehen läßt, so wird auf die vermittelst des Oculars zu erzielende Vergrößerung verzichtet; man läßt das Bild an einem Schirm oder an der Wand eines sonst dunkeln Zimmers entstehen, welches sonach die Stelle des Innern des Microscopes vertritt, und betrachtet es dann mit bloßem Auge. Je größer das Bild ist, um so bedeutender wird die Fläche, auf welche sich die von dem Objecte ausgehenden Strahlen vertheilen müssen, um so geringer wird aber auch die Menge derselben, die auf einen Theil von gegebener Größe fallen, um so geringer also die Lichtstärke des Bildes. Man beleuchtet nun das Object künstlich durch Sonnenlicht oder eine sehr intensive künstliche Lichtquelle, indem man mit Hülfe einer Sammellinse die Lichtstrahlen auf dem Objecte concentrirt.

Man nennt dieses Instrument Sonnenmicroscop.

Durch Vergleichung von Loupe, Microscop und Sonnenmicroscop zeigt sich, daß die Loupe das Ocular, das Sonnenmicroscop das Objectiv des zusammengesetzten Microscopes vorstellen. Bei dem letzteren betrachtet man das durch das Objectiv vergrößerte Bild mit Hülfe des Oculars, bei der Loupe sieht man das Object direct, also nicht vergrößert, vermittelst eines Oculares an, und bei dem Sonnenmicroscop wird mit Hülfe eines Objectives wohl ein vergrößertes Bild entworfen, dieses aber mit Hinweglassung des Oculares direct angeschaut.

§. 174. Ist das Object, welches der Betrachtung unterzogen werden soll, von dem Beobachter weit entfernt, so kann man doch vermittelst einer ihm entgegengehaltenen Convexlinse ein Bild desselben bekommen und dasselbe dann mit der Loupe beschauen. Es entsteht auf diese Weise das nach seinem Entdecker Kepler benannte Fernrohr. Ist (Fig. 203) ab das Object, c die ihm gegenüberstehende Linse, das Ob-

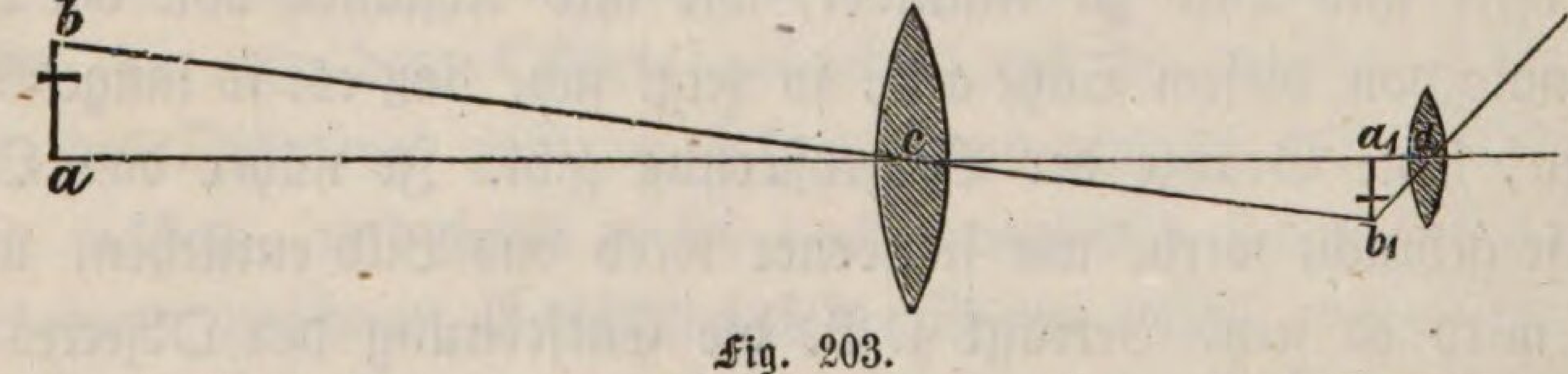


Fig. 203.

jectiv, so entsteht in a_1b_1 das verkehrte von ab, und dieses kann durch das Ocular d, das als Loupe dient, angesehen werden. Die Ver-

größerung, die man durch das Fernrohr erzielt, ergibt sich, wenn man die Brennweite des Objectives durch die des Oculares dividirt, es muß daher ersteres weniger, letzteres mehr gekrümmt sein.

Wenn ein Fernrohr stark vergrößert, so wird das Object dunkler erscheinen, und da man es nicht wie bei dem Microscope künstlich beleuchten kann, so muß auf andere Weise dafür gesorgt werden, daß das Bild möglichst hell wird. Je mehr Lichtstrahlen sich in dem Bilde sammeln, um so heller wird dasselbe werden, und es können um so mehr Lichtstrahlen werden, je größer der Durchmesser des Objectives, die Oeffnung des Fernrohres gemacht wird. Soll daher ein Instrument eine bedeutende Vergrößerung bewirken, so genügt es nicht, daß nur das Objectiv flach ist, und eine große Brennweite hat, es muß auch einen großen Durchmesser haben, und bei den großen Fernrohren, den sogenannten Refractoren, findet die Größe der verwendeten Objective erst da eine Gränze, wo dieselbe durch die Schwierigkeiten der Technik, so große Gläser fehlerfrei darzustellen, gesteckt ist.

Da es sich bei dem Fernrohre um die Betrachtung ferner Gegenstände handelt, so kann man ohne Fehler annehmen, daß die Gerade a_1c der Brennweite des Objectives gleich sei und daß der Gesichtswinkel, unter dem man ab sieht, derselbe bleibt, man mag das Object von c oder von dem etwas hinter d befindlichen Auge aus sehen, denn die Differenz beider Standpuncte ist nur die Länge des Fernrohrs, die gegen die Entfernung ac des Objectes von dem Objective gänzlich vernachlässigt werden kann. Befände sich das Auge in c, so würde es das Object ab und das Bild a_1b_1 unter ganz demselben Gesichtswinkel sehen, da $\angle\, acb = \angle\, a_1cb_1$. Nimmt man nun an, die Entfernung des Oculares von dem Bilde sei gerade so groß, daß die von den einzelnen Puncten des letzteren ausgehenden Strahlen nach dem Durchgange durch ersteres unter einander parallel sind, daß also alle von a_1 ausgehenden Strahlen mit a_1d, alle von b_1 ausgehenden mit b_1d parallel sind, so befindet sich a genau in dem Brennpuncte des Oculares (§. 147), a_1d ist also dessen Brennweite und das hinter d befindliche Auge sieht daher a_1b_1, das Bild von ab, unter dem Winkel a_1db_1, während es ab direct (oder von c aus) nur unter dem Winkel $acb = a_1cb_1$ sehen würde, und die Vergrößerung des Fernrohres hängt daher von dem Verhältnisse der beiden Winkel a_1db_1 und a_1cb_1 ab. Für die immer nur sehr kleinen Winkel a_1cb_1 und a_1db_1 kann man ohne bemerkbaren Fehler annehmen, daß sie sich zu einander umgekehrt verhalten wie die Längen ca_1 und a_1d, und die Vergrößerung wird daher durch den Bruch $\frac{ca_1}{da_1}$, oder wenn man da_1 die Brennweite des Oculares $= f_1$, die des Objectives $ca_1 = f$ setzt, durch $\frac{f}{f_1}$ ausgedrückt. Die

Länge des ganzen Instrumentes ist $= ca + ad = f + f_{\prime}$. Kurzsichtige Augen können parallele Strahlen, wie sie hier vorausgesetzt sind, nicht gebrauchen und es muß daher für diese das Ocular d dem Bilde $a_1 b_1$ etwas genähert werden.

Die Linsen des Fernrohres sollen weder chromatische noch sphärische Aberration haben, d. i. es müssen die gesehenen Gegenstände frei von allen Farbensäumen sein und allenthalben deutlich gesehen werden können. Man bemißt die Leistungen eines Fernrohres am liebsten dadurch, daß man es auf Doppelsterne richtet, welche deutlich getrennt und scharf begränzt erscheinen sollen. Um den störenden Einfluß von unregelmäßig reflectirten und gebrochenen Strahlen zu vermeiden, bringt man an der Stelle wo das Bild $a_1 b_1$ entsteht einen geschwärzten Schirm, ein Diaphragma an, in dem sich eine Oeffnung von der Größe des entstehenden Bildes befindet. Auch anderwärts im Fernrohre kann man solche Diaphragmen finden und so lange deren Oeffnungen so groß sind, daß die zur Darstellung des Bildes beitragenden Strahlen nicht auch abgesperrt werden, ist gegen sie nichts einzuwenden. Bei Fernrohren mit unvollkommen vermiedener sphärischer Aberration sind es besonders die Randstrahlen, welche die Deutlichkeit des Bildes beeinträchtigen, und man kann daher solche Instrumente finden, in welchen auch diese Randstrahlen abgeblendet sind. In diesem Falle ist der äußere Theil des Objectives so gut wie gar nicht vorhanden, da die ihn passirenden Strahlen nicht zum Bilde gelangen, und letzteres wird um so dunkler, je mehr abgeblendet wurde. Ein solches Instrument leistet daher weniger, als es der Größe seiner Oeffnung nach verspricht, ist also fehlerhaft. Man erkennt diesen Fehler dadurch, daß man den äußersten Rand des Objectives dicht vor das Auge haltend gegen das Ocular hinsieht. Man muß letzteres von allen Puncten des Objectives aus sehen können, denn wenn die vom Oculare herkommenden Lichtstrahlen von den Diaphragmen aufgefangen werden, geschieht dieses auch mit denen, welche in umgekehrter Richtung ziehen.

Das Glas der Linsen soll vollständig gleichmäßig sein und namentlich dürfen sich keinerlei Streifen (Wellen) in demselben befinden, da diese eine ungleichförmige Construction anzeigen.

Ueber dasjenige Diaphragma, das sich da befindet, wo das Bild $a_1 b_1$ entsteht, werden sehr häufig Kreuze und Gitter von Spinnfäden gespannt, welche dazu dienen, die Orientirung innerhalb des Gesichtsfeldes zu erleichtern und die genaue Bestimmung der Richtung, nach welcher man einen gegebenen Punct sieht, möglich zu machen.

Wie bei dem Microscope kann man auch bei dem Fernrohre die Vergrößerung mit Hülfe zweier Maaßstäbe bestimmen, von denen man den einen in der deutlichen Sehweite befindlichen mit freiem Auge, den andern vermittelst des Fernrohres betrachtet. Es muß jedoch hier bei der Rechnung darauf Rücksicht genommen werden, wie groß die Entfernung des durch das Fernrohr betrachteten Maaßstabes sei, weil der Gesichtswinkel, unter dem er erscheint, sich danach richtet. Man kann übrigens ganz einfach auch in der Weise verfahren, daß man beide Augen, das eine frei das andere bewaffnet

auf die Dachplatten eines Hauses, einen Pallisadenzaun oder dergl. richtet und dann nachzählt, wie viele von den mit freiem Auge gesehenen Platten auf eine vermittelst des Fernrohrs beobachtete gehen.

§. 175. Man sieht durch das Kepler'sche Fernrohr wie durch das Microscop alle Gegenstände verkehrt, was für den gewöhnlichen Gebrauch unbequem ist, weßhalb man bei dem sogenannten *terrestrischen* Fernrohre das Bild dadurch aufrichtet, daß man es durch Hinzufügen eines weiteren Linsenpaares noch einmal umdreht, so daß man jetzt das Instrument wie zwei der im vorigen Paragraphe besprochenen *astronomischen* Fernrohre, die sich hinter einander befinden, betrachten kann. Man bleibt jedoch bei den für astronomische Zwecke bestimmten Instrumenten den einfachen nur aus Objectiv und Ocular bestehenden treu, denn da kein Glas, auch wenn es noch so sorgfältig bearbeitet wurde, vollkommen fehlerfrei ist, bekommt man um so mehr unregelmäßig gehende Strahlen, durch je mehr Gläser dieselben passiren müssen, und da außerdem in jedem Glase etwas von dem Lichte absorbirt wird, steht auch das terrestrische Fernrohr dem astronomischen unter sonst gleichen Umständen an Lichtstärke nach. Diese Mängel werden von dem Astronomen für höher erachtet als die geringe Unbequemlichkeit, daß die Bilder verkehrt sind.

§. 176. Während bei dem Kepler'schen Fernrohre das Ocular von einer Convexlinse gebildet wird, ist bei dem *Galileischen* oder *holländischen* Fernrohre eine Concavlinse an dessen Stelle.

Würde man dem Objecte ab (Fig. 204) das Objectiv c entgegenhalten, so würde dieses das umgekehrte Bild $a_1 b_1$ zu Stande bringen, die sämmtlichen von einem Puncte von ab ausgehenden Strahlen würden nach dem Durchgange durch die Linse gegen den entsprechenden Punct von $a_1 b_1$ convergiren. Wollte man nun ein Auge zwischen c und a_1 bringen, so könnte dasselbe nichts sehen, denn ein Auge kann wohl divergirende oder auch allenfalls parallele Strahlen so brechen, daß sie sich auf der Netzhaut vereinigen, aber bei convergirenden Strahlen fällt der Vereinigungspunct *vor* die Netzhaut. Es wurde oben (§. 164) angegeben, daß wenn das Auge die Strahlen zu früh ver-

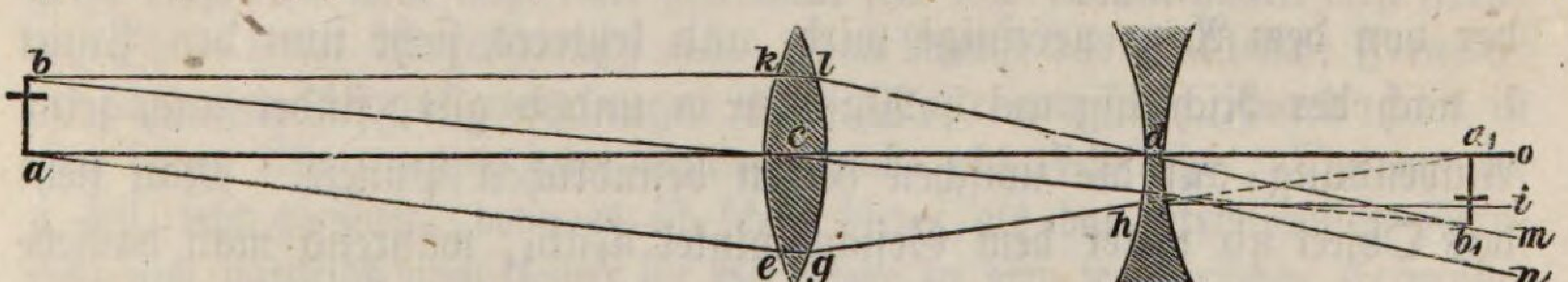


Fig. 204.

einigt, was hier der Fall ist, man dem Fehler dadurch abhilft, wenn man sich einer Concavlinse als Brille bedient. Dasselbe Verfahren wird hier beobachtet, um die convergirenden Strahlen dem Auge brauchbar zu machen, und da kein Auge convergirende Strahlen erst auf der Netzhaut vereinigt, also hier jedes Auge eine Brille braucht, wird diese als unumgänglich nöthig als Ocular d sogleich fest mit der Objectivlinse verbunden. Die Stelle, an welcher das Ocular angebracht wird, ist in der Figur angedeutet; sie möge sich so weit von a_1 befinden, daß letzteres im virtuellen Brennpuncte der Concavlinse ist, als welchen wir nach §. 151 denjenigen Punct zu betrachten haben, gegen welchen die auf die Linse fallenden Strahlen convergiren müssen, um nach dem Durchgange durch das Glas unter einander parallel auszutreten. Untersucht man statt der vielen von jedem Puncte des Objectes ab auf jeden Punct des Objectives fallenden Strahlen nur ein paar, so geht der Strahl acdo ungebrochen durch beide Linsen. Ein anderer Strahl macht den Weg aeghi, er würde sich in a_1 mit dem vorhergehenden Strahle vereinigen, wenn die Concavlinse nicht vorhanden wäre, da er aber von dieser gebrochen wird, geht er nicht nach a_1, sondern ist nach dem Durchgange durch das Ocular mit dem vorigen Strahle parallel. Ebenso haben alle anderen von a ausgehenden Strahlen, nachdem sie das Ocular passirt haben, dieselbe Richtung da_1, und ein in der Nähe von a befindliches Auge empfängt einen Büschel paralleler Strahlen, die es auf der Netzhaut vereinigt, worauf es den Punct a in der Richtung da wahrnimmt. In ähnlicher Weise geht es mit den Strahlen, welche b aussendet. Ist bk einer derselben, so wird er von dem Objective nach d gebrochen, geht aber von da, weil er den Mittelpunct des Oculares passirt, in seiner bisherigen Richtung fort und gelangt nach m. Weiß man die Endrichtung eines einzigen der Strahlen, welche vor dem Eintritt in die Linse d gegen den in der Brennweite befindlichen Punct b_1 convergiren, so ist auch die aller übrigen bekannt, denn sie sind nach dem Durchgange durch d alle unter einander parallel, und der Strahl bc geht daher endlich nach n. Alle diese parallel mit dm in's Auge gelangenden Strahlen bilden einen zweiten Lichtbüschel, der von dem Auge vereinigt wird, und letzteres sieht nun den Punct b nach der Richtung md. Was für a und b gilt, findet auch seine Anwendung auf die zwischen beiden befindlichen Puncte. Man sieht das Object ab unter dem Gesichtswinkel a_1db_1, während man dassebe direct unter dem Winkel $acb = a_1cb_1$ gesehen hätte, denn man kann

auch hier wie bei dem Kepler'schen Fernrohre die Länge des Instrumentes cd gegen die Entfernung des Objectes ac vernachlässigen und annehmen, das Auge befinde sich in c. Das Verhältniß der beiden Winkel a_1db_1 und a_1cb_1 gibt die Vergrößerung; sie ist wie bei dem Kepler'schen Fernrohre gleich der Brennweite des Objectives dividirt durch die Brennweite des Oculars.

Um die Vergrößerung zu bestimmen, geht man von dem Satze aus, daß $a_1d = f_1$ die Brennweite des Oculares, $a_1c = f$ die des Objectives sei und weil für kleine Winkel, wie sie hier immer vorkommen, ohne merklichen Fehler gesetzt werden kann $\measuredangle\, a_1db_1 : \measuredangle\, a_1cb_1 = a_1c : a_1d = f : f_1$, ergibt sich die Vergrößerung $= \frac{f}{f_1}$, die Länge dagegen ist $= f - f_1$. Wenn das Auge kurzsichtig ist, kann es parallele Strahlen, wie sie hier vorausgesetzt sind, nicht gebrauchen, es müssen dieselben divergent gemacht werden. Zu diesem Zwecke muß das Ocular d gegen das Objectiv hingeschoben werden, denn jetzt convergiren die auf das Ocular fallenden Strahlen gegen einen Punct a, der weiter von demselben entfernt ist als dessen Brennpunct, weßhalb sie auch (§. 151) divergent austreten müssen.

Das im Vorstehenden beschriebene Fernrohr ist um das Jahr 1608 von einem Brillenmacher Hans Lippershey in Middelburg in Holland erfunden worden. Es sollen seine Kinder mit Brillengläsern, die sie in eine Röhre brachten, gespielt haben, und da sie bei einer zufälligen Zusammenstellung den Hahn auf dem Kirchthurme sehr vergrößert erblickten, sollen sie voll Erstaunen ihren Vater herbeigerufen haben, der den Zufall zu benützen verstand. Galilei errieth die Construction bald und machte sie nach, weßhalb das Instrument bald holländisches bald Galileisches Fernrohr genannt wird. Später construirte Kepler das nach ihm benannte Instrument.

Auch das holländische Fernrohr darf weder sphärische noch chromatische Aberration zeigen. Beide Fehler erkennt man am leichtesten an denjenigen Gegenständen, die sich am Rande des Gesichtsfeldes befinden; sind sie durch Blendungen verdeckt, so findet man diese dadurch, daß man den Finger vor das Objectiv hält. Ragt derselbe nur um ein Minimum in das Glas herein, so muß er alsbald von dem Oculare aus gesehen werden können.

Da bei diesem Fernrohre das Bild nicht zu Stande kommt und daher die auf das Ocular fallenden Strahlen noch ziemlich weit auseinander sind, weil durch das Ocular die einzelnen Strahlenkegel abgeschnitten werden, darf letzteres nicht zu klein sein, wenn es die Strahlen noch durchlassen soll; eine große Linse kann aber nicht stark gekrümmt sein und darum halten diese Fernrohre keine starke Vergrößerung aus. Man benützt das Galileische Fernrohr der schwachen Vergrößerung wegen nicht zu astronomischen Zwecken; es ist aber seiner Kürze wegen zum Handgebrauche als Feldstecher, Operngucker u. dgl. sehr geeignet, denn es ist schon kürzer als das astronomische Fernrohr und natürlich noch kleiner im Vergleiche zu dem terrestrischen Fernrohre Keplers.

Weil hier das Bild nicht zu Stande kommt, kann man auch kein Fadenkreuz anbringen.

§. 177. Das Verhalten der Convexlinsen bietet, wie §. 147 gezeigt wurde, viele Analogien mit dem der Concavspiegel und diesen Analogien zufolge gelingt es auch, letztere eben so gut zu Fernrohr-Objectiven zu benützen als dieses mit den Linsen geschieht. Man ist gewohnt, jene Fernrohre, in denen die Objectivlinse durch einen Hohlspiegel ersetzt ist, Telescope zu nennen.

Sind ab, a_1b_1 (Fig. 205) von einem fernen Gegenstande kommende Strahlen, die auf den Spiegel fallen, so entsteht (§. 136) in c ein verkehrtes Bild dieses Gegenstandes; doch läßt man dieses Bild nicht in c zum Vorschein kommen, denn ein um 45° gegen die Axe des Telescopes geneigter Spiegel s reflectirt die nach c gehenden Strahlen und das Bild kommt dann nach e, wo es mit Hülfe der Ocularlinse g betrachtet wird.

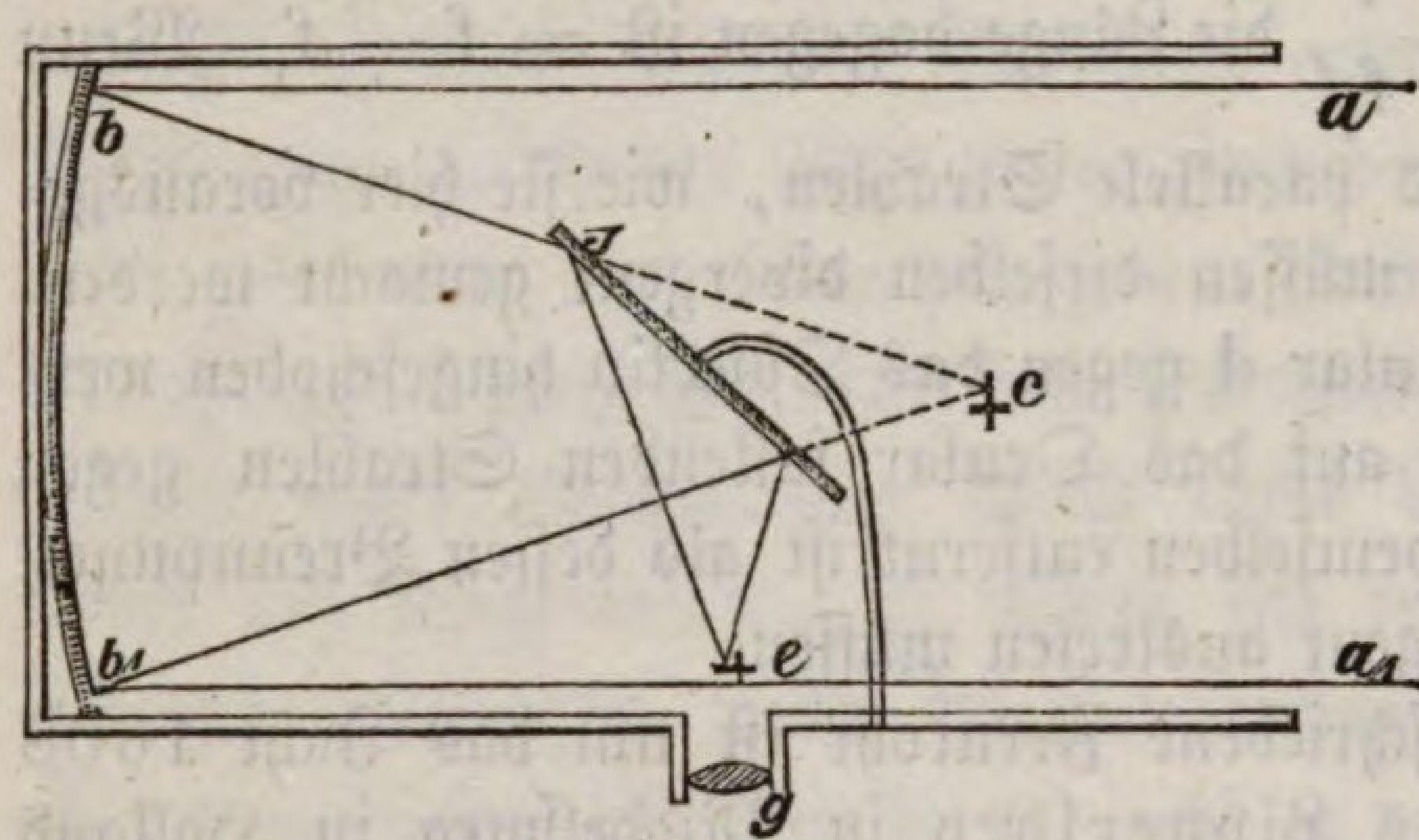


Fig. 205.

Man erkennt wohl leicht die Analogie dieses nach Newton benannten Telescopes mit dem Kepler'schen Fernrohr.

Bei dem Gregoryschen Telescope (Fig. 206) vereinigen sich die von dem Objecte herkommenden Strahlen ab und a_1b_1 nach der Reflexion auf dem Spiegel bb_1 zu dem Bilde c. Hinter dem Orte des Bildes befindet sich ein kleinerer Hohlspiegel s, für welchen das Bild c die Rolle des Objectes spielt, von dem nun wieder ein umgekehrtes also im Vergleiche mit dem ursprünglichen Objecte aufrechtes Bild in d entsteht, das vermittelst des Oculares g angesehen wird. Dieses Telescop entspricht dem terrestrischen Kepler'schen Fernrohr.

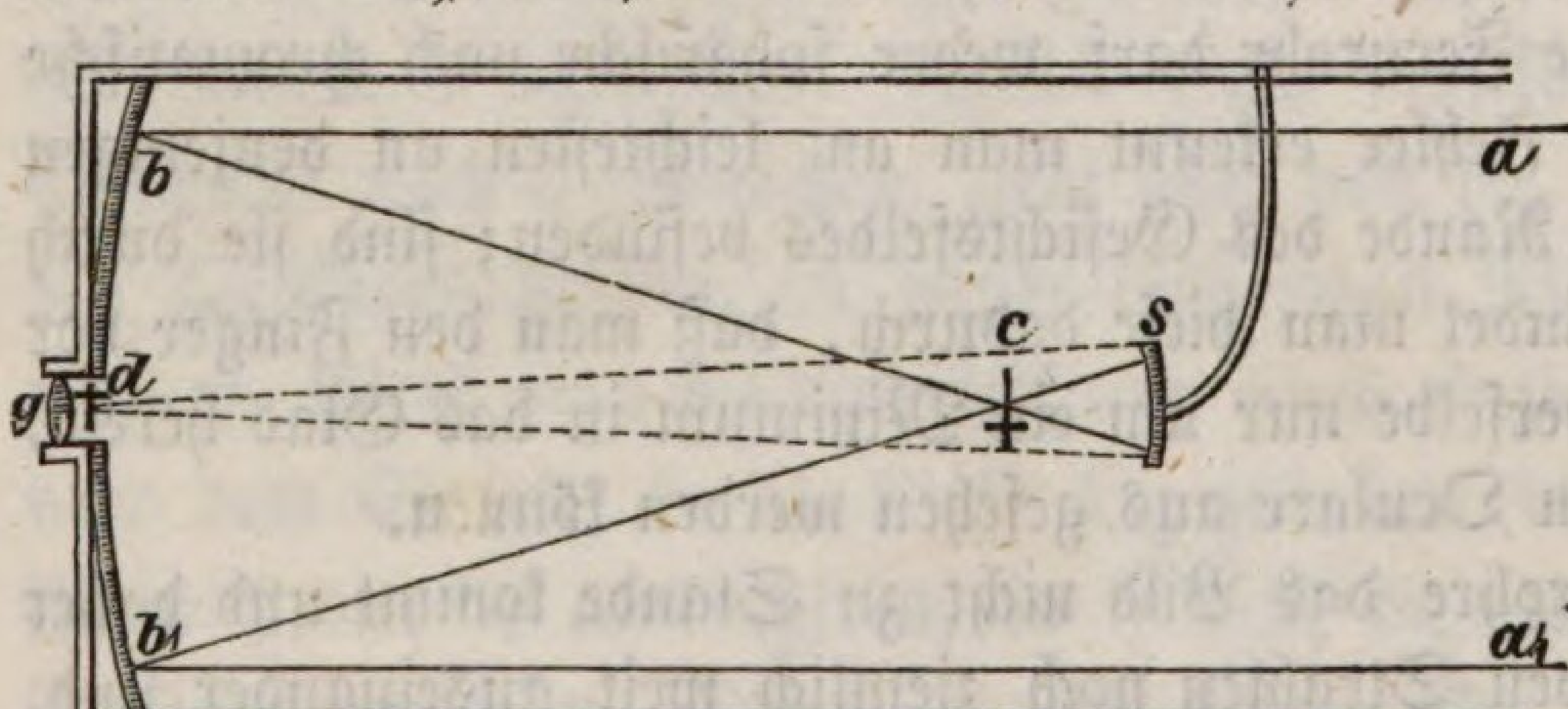


Fig. 206.

In dem Newton'schen sowohl als in dem Gregoryschen Telescope können die auf den mittleren Theil des großen Spiegels fallenden

Strahlen nichts zur Herstellung des Bildes beitragen, weil ihnen der Spiegel s im Wege steht. Es sind aber gerade diese als Centralstrahlen die zweckmäßigsten, da die Randstrahlen stets durch die im günstigsten Falle schwache aber niemals ganz verschwindende sphärische Aberration beeinträchtigt sind. Man kann, um diesem Mißstand vorzubeugen, nach Herschels Vorgange den Spiegel S (Fig. 207) schief in der Röhre des Telescopes anbringen, dann vereinigen sich die von dem betrachteten Objecte ausgehenden Strahlen ab zu dem Bilde c, das vermittelst der Ocular-Linse g angesehen wird. In diesem Falle ist allerdings auch ein Theil der Strahlen nicht zu gebrauchen, da der Kopf des Beobachters vor das Ocular zu stehen kommt, allein bei den großen Dimensionen, die man dem Spiegel S zu geben pflegt, kommt dieser Mißstand wenig in Betracht. Da es bei diesem Telescope wie bei dem Newton'schen schwierig ist, das Instrument zu richten, weil man das Object in einer ganz andern Richtung sieht als es wirklich ist, verbindet man gewöhnlich noch ein Fernrohr D den sogenannten Sucher damit, und beobachtet dann, wenn das Instrument mit Hülfe des Suchers gerichtet ist.

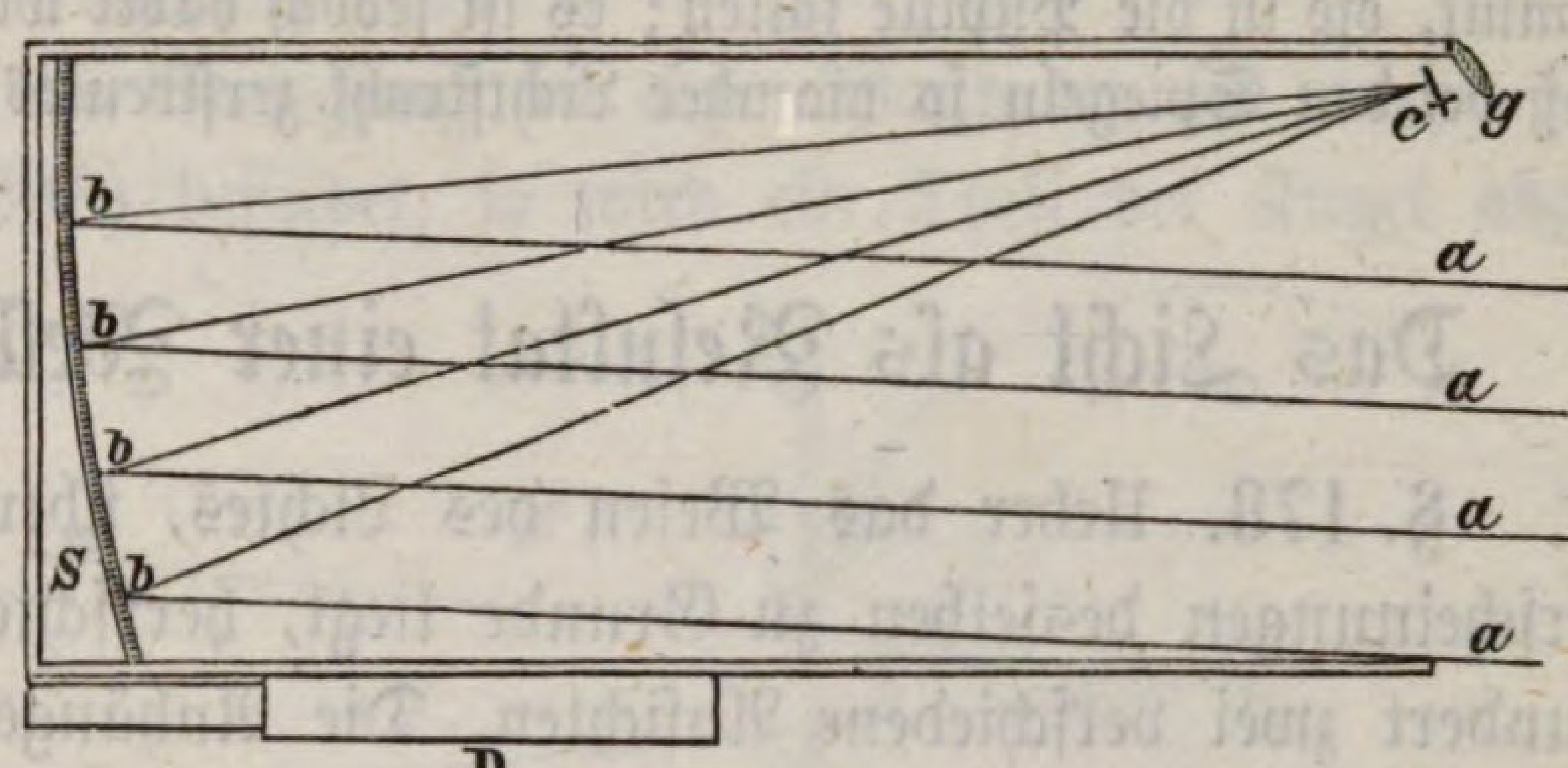


Fig. 207.

Die Benützung der Telescope hat manche Unannehmlichkeiten, denn der Spiegel muß, weil Glasspiegel doppelte Bilder geben (§. 132), die sich stören, von Metall sein. Das Metall läuft leicht an, und der Spiegel muß umgeschliffen werden, weßhalb die Telescope beständig reparirt werden müssen. Trotz dieses Mangels waren im vergangenen Jahrhunderte die Telescope die vorzugsweise zu astronomischen Beobachtungen verwendeten Instrumente, weil bei der Reflexion des Lichtes eine Farbenzerstreuung nicht stattfindet und weil es damals noch nicht gelungen war, fehlerfreie achromatische Fernrohre herzustellen. Nachdem dieses Dollond und Fraunhofer gelungen war, wurden die Telescope vernachlässigt. Es sind übrigens die dioptrischen Fernrohre in ihrer Größe nicht unbegränzt, denn die Herstellung einer fehlerfreien Objectivlinse gelingt nicht so leicht und darum haben auch die größten achromatischen Objective, die man bisher zu Stande gebracht, nicht über 14 Zoll Durchmesser. Die Telescope finden dagegen ihre Gränze erst da, wo der Kostenpunct Einspruch erhebt und es haben einzelne Instrumente riesige Dimensionen erlangt. Herschel beobachtete mit einem Telescope, das einen

Spiegel von 4 Fuß Durchmesser hatte und 7000mal vergrößerte. Im Jahre 1845 hat Lord Roß bei Dublin ein Spiegeltelescop aufgestellt, dessen Spiegel einen Durchmesser von 6 Fuß und eine Brennweite von 56 Fuß besitzt. Die Lichtstärke solcher Instrumente ist außerordentlich groß, denn die von einem Puncte ausgehenden und auf eine Kreisfläche von 6 Fuß Durchmesser fallenden Strahlen werden durch den Spiegel wieder an einem Puncte concentrirt, während das unbewaffnete Auge nur diejenigen Strahlen wahrnimmt, die in die Pupille fallen; es ist jedoch dabei wieder zu berücksichtigen, daß bei den Spiegeln so mancher Lichtstrahl zerstreutes Licht gibt.

Das Licht als Resultat einer Wellenbewegung.

§. 178. Ueber das Wesen des Lichtes, über das also, was den Erscheinungen desselben zu Grunde liegt, herrschten im vorigen Jahrhundert zwei verschiedene Ansichten. Die Anhänger der von Newton stammenden sogenannten Emissions-Theorie nahmen an, daß von den leuchtenden Körpern eine eigenthümliche Lichtmaterie ausgehe, während nach der andern, der sogenannten Undulationstheorie, nach dem Vorgange von Huyghens alles Licht von Schwingungen eines äußerst dünnen über den ganzen Weltenraum verbreiteten Stoffes, des Aethers, herrührte. In dem laufenden Jahrhundert wurde der Streit vollständig zu Gunsten der letzteren Ansicht entschieden.

Die Aethertheilchen eines leuchtenden Körpers oscilliren in ähnlicher Weise wie die Theilchen eines schallenden, doch folgen sich die Schwingungen viel rascher. Die Lichtschwingungen theilen sich dem Aether mit, die Schallschwingungen den Körpertheilchen, erstere werden durch den Gesichts-, letztere durch Vermittlung des Gehörsinnes wahrgenommen. Bei dem Schalle unterscheiden sich die Töne von einander durch die Verschiedenheit der Zeit, die ein Theilchen zu einer Schwingung bedarf; bei dem Lichte beruht der Unterschied der Farben auf dem gleichen Umstande.

Die Aethertheilchen schwingen, wenigstens insoweit ihre Bewegung auf unser Auge eine Wirkung ausübt, senkrecht auf der Richtung in welcher sich die Bewegung fortpflanzt, sie machen also wie das schwingende Seil (Fig. 112) Transversalschwingungen, und ein in Bewegung versetztes Aethertheilchen pflanzt dieselbe ebenso nach allen Richtungen weiter, wie dieses durch Fig. 122 veranschaulicht ist. Hat ein Theilchen sei es durch was immer für eine Veranlassung zu schwingen begonnen, so werden alle rings herum befindlichen Theilchen von der Bewegung

ergriffen und diejenigen von ihnen, die sich in der jeweilig gleichen Phase befinden, liegen alle in einer Kugelschale, die man um das erste als Mittelpunct ziehen kann. Je länger die seit dem Beginne der Bewegung verflossene Zeit ist, um so größer wird die die äußersten schwingenden Theilchen umschließende Kugelschale sein. Die Radien der Kugelschalen heißen Lichtstrahlen.

§. 179. Langt die Bewegung an einer Wand an, in welcher sich ein Loch bc (Fig. 208) befindet, so wird ein Theil der Kugel abgeschnitten und nur der andere geht durch das Loch hindurch. Es wird nun die Stelle der größten Bewegung zwischen den Geraden bd und ce eingeschlossen sein, dort findet sich die stärkste Beleuchtung, die Lichtstrahlen gehen also gerade aus; doch erhält auch der Raum ff seine Schwingungen, denn wenn man einen Lichtstrahl durch eine Spalte in ein dunkles Zimmer leitet, gewahrt man allerdings einen erleuchteten Streifen bcde in diesem, aber man sieht diesen Streifen von allen Puncten des Zimmers aus in seiner ganzen Ausdehnung, was beweist, daß von jedem seiner Puncte nach allen Seiten hin Strahlen ausgesendet werden.

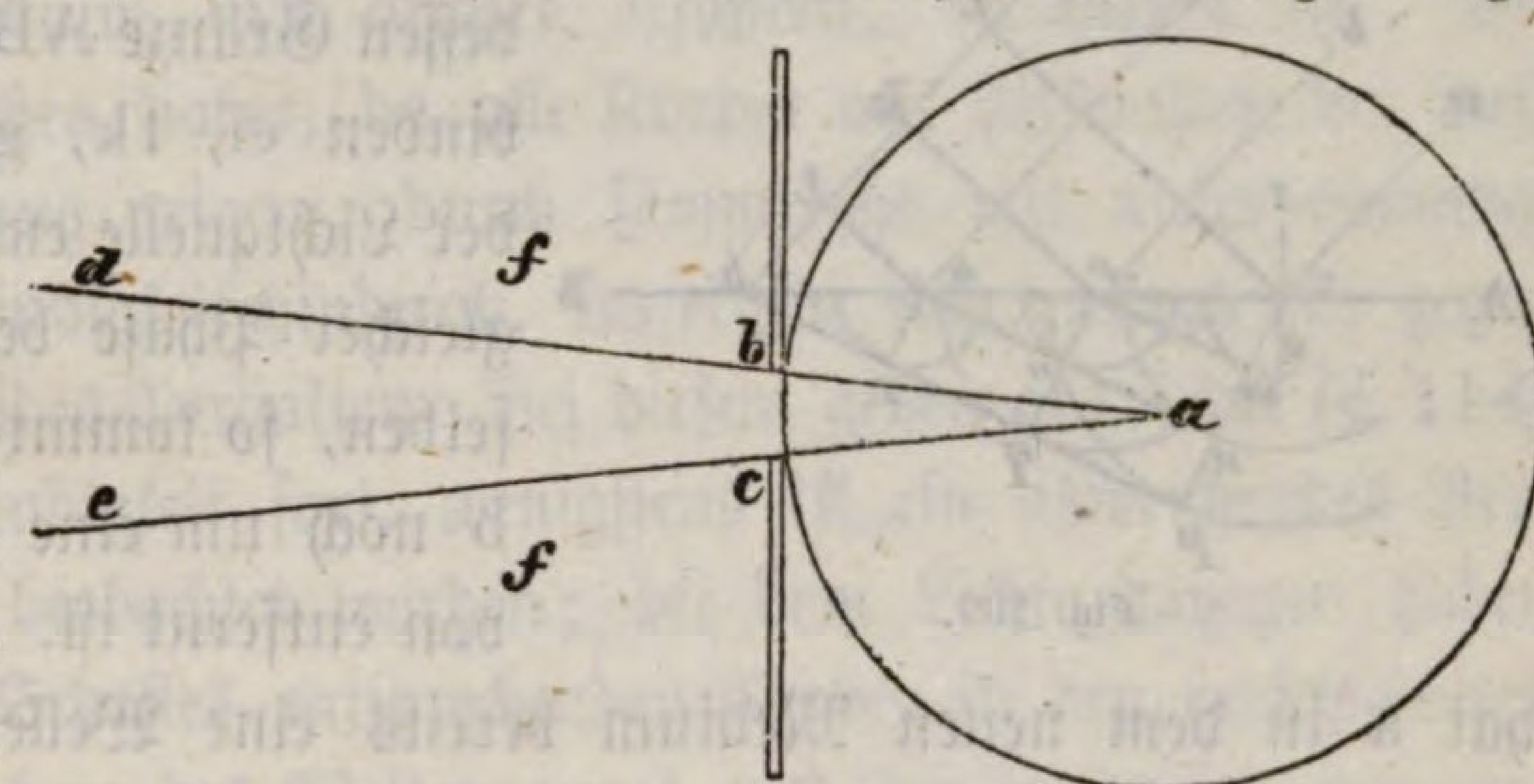


Fig. 208.

Stößt eine Welle an eine Wand, so wird sie von derselben reflectirt (§. 113 Fig. 124—26) und dasselbe geschieht auch mit dem Lichte, da ja dieses nur auf Wellenbewegung beruht. Es zeigen darum die Figuren 124—26 sehr leicht den Grund des §. 132 erwähnten Gesetzes, wonach das Licht nach der Reflexion an einem Spiegel von einem Puncte herzukommen scheint, der eben so weit hinter dem Spiegel ist, als die wirkliche Lichtquelle sich in der That vor demselben befindet und wonach Einfalls- und Reflexionswinkel sich gleich sind.

§. 180. Der Aether erfüllt nicht nur den Weltenraum, er macht auch (§. 88) einen Bestandtheil der Körper aus, in denen er mit der schweren Materie, der Materie im engern Sinne des Wortes, verbunden ist. In den Körpern sind die Aethertheilchen sogar dichter bei einander, da ihre gegenseitige Abstoßung zum Theile dadurch aufgehoben wird, daß sie von den materiellen Theilchen angezogen werden.

Die größere oder geringere Dichtigkeit des Aethers übt einen Einfluß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen aus, denn während diese im Weltenraume 42000 Meilen in der Secunde beträgt, erreicht sie im Diamante nur $\frac{2}{5}$ dieser Größe.

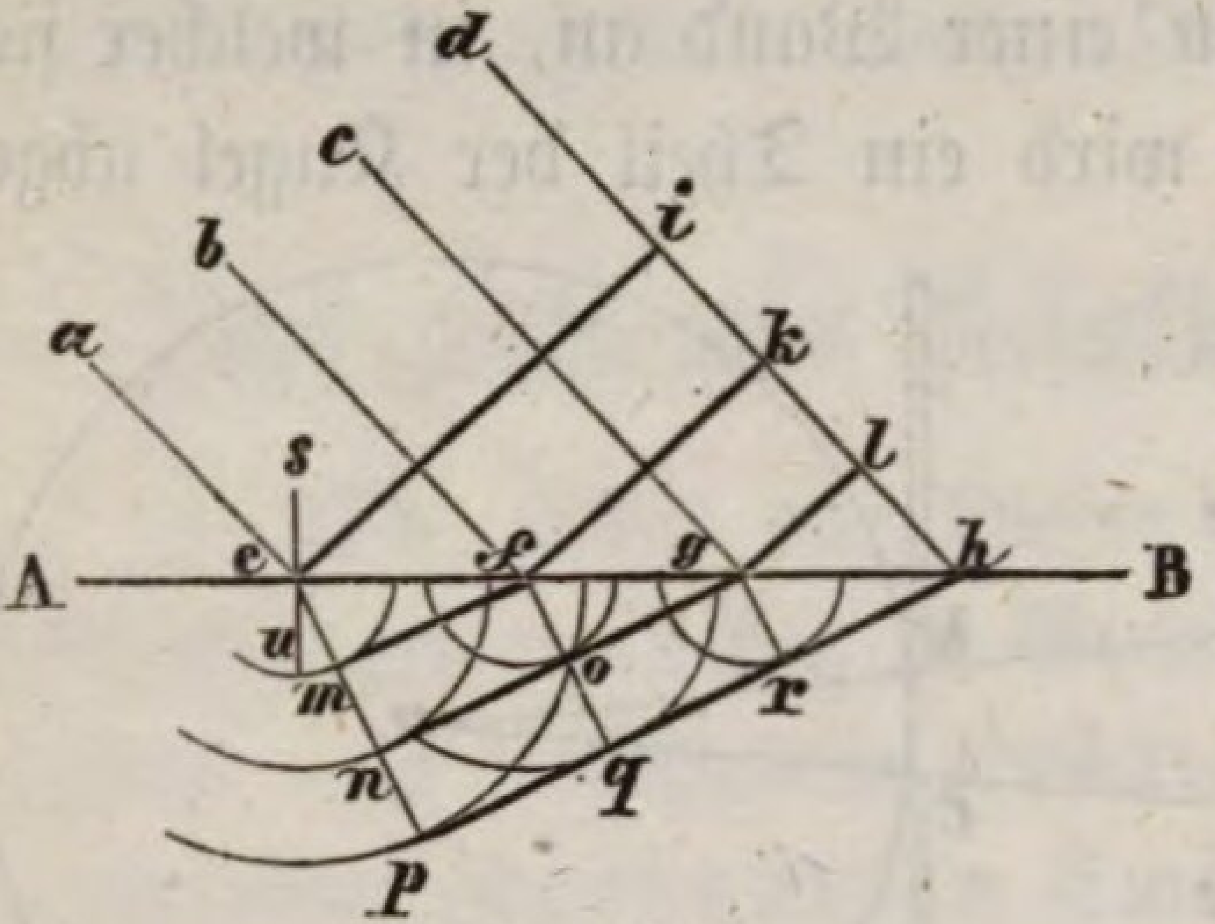


Fig. 209.

Sind (Fig. 209) abcd eine Reihe neben einander befindlicher von einem weit entfernten Puncte herkommender also unter einander paralleler Wellenstrahlen (§. 113), die auf einen stärker brechenden Körper, dessen Gränze AB ist, fallen, und verbinden ei, fk, gl je gleich weit von der Lichtquelle entfernte und daher in gleicher Phase befindliche Theile derselben, so kommt a an AB an, wenn b noch um eine ik gleiche Strecke davon entfernt ist. Bis b nach f kommt, hat a in dem neuen Medium bereits eine Welle hervorgerufen, die einen Radius em hat, und da die zwischen a und b befindlichen Elementarwellen um so früher oder später in das neue Medium eindrangen, je nachdem sie näher bei a oder bei b liegen, haben sie auch Wellen erregt, welche sämmtlich von der Geraden fm berührt werden. Nach abermaligem Verlaufe eines Zeitintervalles ist c in g angelangt, aber mittlerweile hat a seine Welle bis n ausgedehnt und f ist nach o gekommen. Eine die sämmtlichen Wellen berührende Gerade ist nun nog. Nach Verlauf eines neuen Zeitintervalles gelangt auch d an das neue Medium und die nunmehrige Welle wird von der Geraden ph begränzt. Die Welle im neuen Medium schreitet wie man sieht von fm nach gn, hp u. s. w. fort, und derjenige Theil der Bewegung, welcher von dem Puncte l ausgeht, bildet den Strahl emnp, f gibt den Strahl foq u. s. w. Diese neuen Lichtstrahlen sind nicht die directen Fortsetzungen von ae, bf u. s. w., das Licht ist daher *gebrochen*, weil seine Geschwindigkeit im neuen Medium kleiner ist als im alten.

Die Größen hi und ep sind die von dem Lichte in den verschiedenen Medien aber in der gleichen Zeit zurückgelegten Wege und der Bruch $\frac{hi}{ep}$ gibt mithin das Verhältniß der jeweiligen Geschwindigkeiten, sein Werth ist gleich dem des Brechungscoëfficienten n.

Man findet leicht

$$\angle\, sea = 90^0 - \angle\, sei = \angle\, ieh,\ \frac{hi}{eh} = \sin ieh = \sin sea \text{ und}$$

$$\angle uem = 90^\circ - \angle peh = \angle ehp,\ \frac{ep}{eh} = \sin ehp = \sin uep.$$

Daraus folgt $\frac{hi}{ep} = \frac{\sin sea}{\sin uep} = \frac{\sin i}{\sin r} = n.$

§. 181. Das weiße Licht besteht (§. 153) aus den verschiedenen Farben des Spectrums und man beobachtet in der Dispersion, daß die einzelnen Farben verschieden gebrochen werden, was wieder darauf hinweist, daß die Verzögerung, welche die Farben bei dem Uebergange von dem einen Medium in's andere erfahren, verschieden ist. Die einzelnen Farben gehen daher, da alle Körper mit Ausnahme der Luft eine Farbenzerstreuung zeigen, durch sämmtliche mit unter einander verschiedener Geschwindigkeit hindurch. Es ergibt sich hieraus ein gegen den Schall abweichendes Verhalten. Bei diesem gehen alle Töne (§. 114) mit gleicher Geschwindigkeit fort, wenigstens ist ein abweichendes Verhalten bisher nicht beobachtet worden; bei dem Lichte dagegen haben die den Tönen des Schalles entsprechenden Farben in den verschiedenen Körpern mit Ausnahme des Weltenraums und der Luftarten eine verschiedene Geschwindigkeit.

§. 182. Da sich das Licht auf eine Wellenbewegung zurückführen läßt, so finden auch die in den §§. 110 und 112 angeführten Sätze der Interferenz und Beugung der Wellen bei ihm ihre directe Anwendung. Zwei in gleicher Phase befindliche ganz oder nahezu parallele Lichtstrahlen wirken so zusammen, daß ihr Totaleffect der Summe der Einzelwirkungen gleich ist. Je nach der Verschiedenheit der Phasen der componirenden Wellen wird auch die Phase und die Intensität der resultirenden Welle eine andere.

Man beobachtet die Erscheinungen der Interferenz in Verbindung mit denen der Beugung des Lichtes sehr schön, wenn ein Lichtstrahl durch eine schmale Oeffnung in ein dunkles Zimmer dringt. Nehmen wir an, AB (Fig. 210) sei ein solcher Spalt, auf den das Licht senkrecht einfällt, so daß wir annehmen können, alle durch die Spalte eindringenden Strahlen befinden sich auf den sämmtlichen Puncten zwischen A und B in gleicher Phase, so geht eine Reihe neben einander befindlicher Strahlen hindurch, und wenn sie jenseits des Spaltes ihren Weg fortsetzen, werden alle von einer senkrecht auf ihrer Richtung gezogenen Geraden ab in Puncten geschnitten, die gleichweit von der Lichtquelle

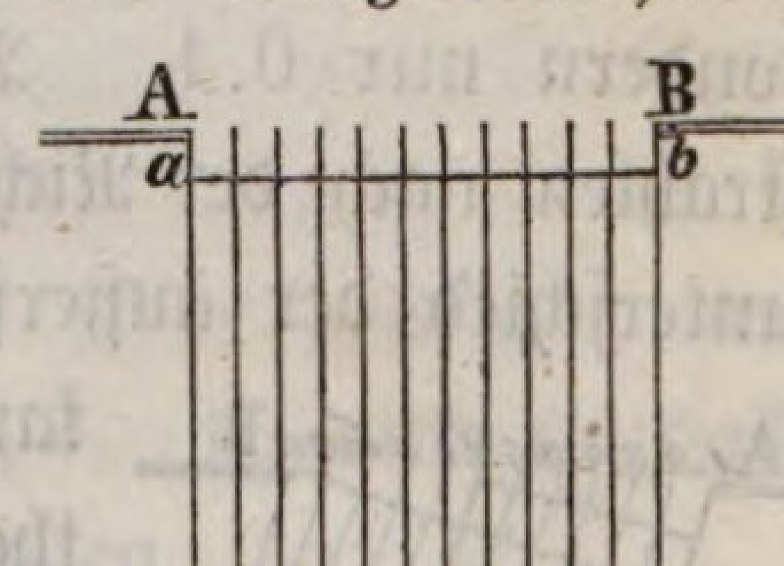


Fig. 210.

entfernt sind und sich daher auch in der gleichen Phase befinden. Nach dem Vorerwähnten werden nun alle Strahlen hinsichtlich ihrer Wirkung sich addiren und wenn sie im Verlaufe ihres Weges auf einen Schirm treffen, so wird dieser in einem Grade beleuchtet sein, den wir 1 nennen wollen.

Da man bei der Wellenbewegung jeden von der Welle getroffenen Punct als einen neuen Wellenmittelpunct betrachten kann, der seine Strahlen nach allen Richtungen aussendet, so können wir dieses auch auf die zwischen A und B befindlichen Puncte anwenden; alle diese Puncte werden gleichzeitig von der Lichtquelle getroffen und da die Entfernung aller Puncte von ab dieselbe ist, muß letztere Gerade lauter solche Puncte enthalten, in denen sich die Welle in gleicher Phase befindet. Man kommt also auch auf diesem Wege zu dem vorigen Resultate.

Die zwischen A und B befindlichen Puncte senden nach allen Richtungen Licht aus, also geschieht dieses auch in der Richtung AC (Fig. 211).

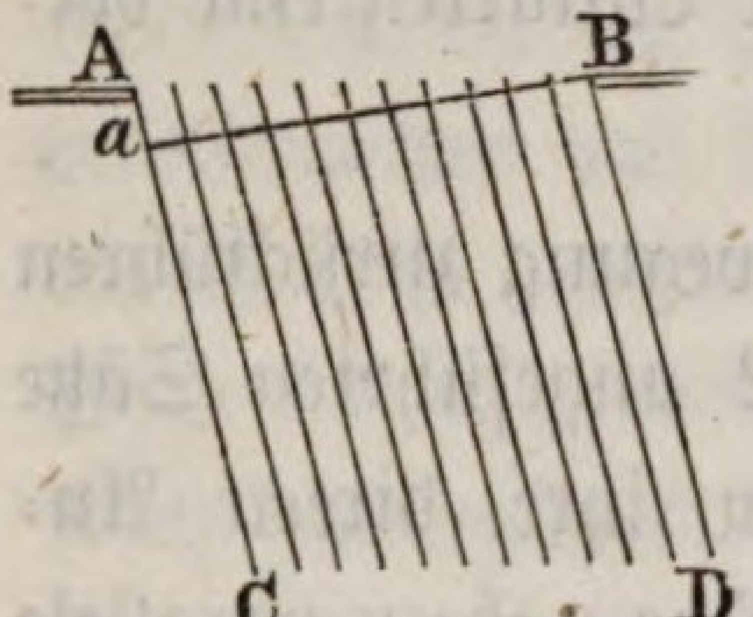


Fig. 211.

Zieht man hier wieder eine Gerade, welche auf den Strahlen senkrecht ist, so zeigt sich, daß dieselbe nicht überall gleich weit von AB entfernt ist, und an den von ihr getroffenen Puncten der Strahlen befinden sich diese in ungleichen Phasen. Für den Fall, daß aA = $\frac{1}{2}$ Wellenlänge sei, werden die 2 äußersten Strahlen (AC und BD) um eine halbe Wellenlänge von einander verschieden sein und sich gegenseitig aufheben, die 2 nächstinnern Strahlen haben einen Gangunterschied von etwas weniger als einer halben Wellenlänge und sie heben sich nahezu auf, die innersten Strahlen dagegen, bei denen nur wenig Phasenunterschied ist, verstärken sich gegenseitig und das Gesammtresultat der Strahlen ist nicht eine Lichtstärke 1 wie im vorigen Falle, sondern nur 0.4. Wenn die Puncte zwischen A und B ihre Lichtstrahlen nach der Richtung C (Fig. 212) senden, bei welcher der Gangunterschied der äußersten Strahlen eine ganze Wellenlänge beträgt, so



Fig. 212.

kann man sich die Spalte in 2 gleiche Theile getheilt denken. Es ist nun 1 von 7, 2 von 8, 3 von 9, 4 von 10, 5 von 11 und 6 von 12 jedesmal um eine halbe Wellenlänge verschieden und alle Strahlen heben sich paarweise auf; sie geben also gar kein Licht. Beträgt der Gangunterschied der

äußersten Strahlen $\frac{3}{2}$ Wellenlängen (Fig. 213), so heben sich, wenn man sich die Spalte in 3 Theile getheilt denkt, die Strahlen der ersten 2 Drittheile wie im vorigen Falle paarweise auf und die Strahlen des letzten Drittheils geben zusammen nur ein neunmal schwächeres Licht als in dem Falle von Fig. 211. Gesetzt, der Gangunterschied der äußersten Strahlen betrage $\frac{4}{2}$ Wellenlängen, so kann man sich den Spalt in 4 Theile getheilt denken und die Strahlen des ersten und zweiten, sowie die des dritten und vierten Viertheils heben sich paarweise auf. Man hat also wieder kein Licht. In dieser Weise geht es fort, bald heben sich die Strahlen auf bald nicht, aber wenn sie sich auch nicht ganz aufheben, so wird doch ihre Wirkung immer schwächer.

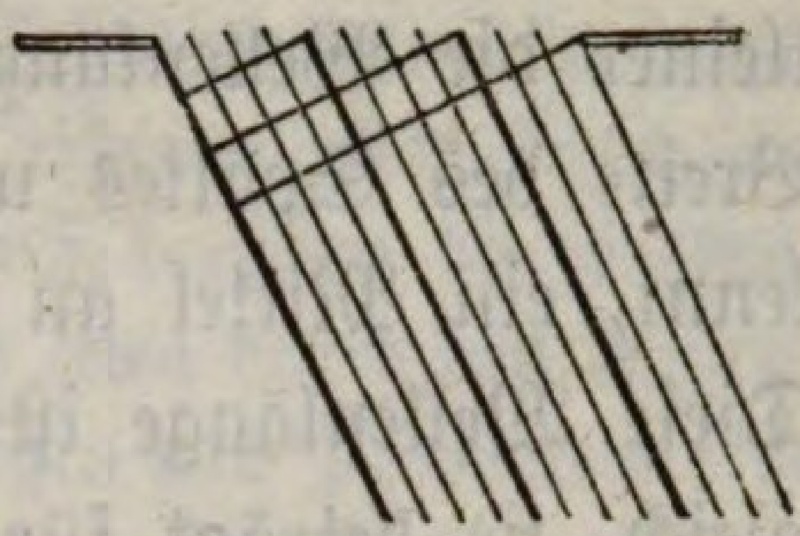


Fig. 213.

Es sei (Fig. 214) AB wieder die Spalte, durch welche homogenes etwa rothes Licht eindringen mag, CD ein derselben gegenüberstehender Schirm, so bekommen die einzelnen Stellen des letzteren von der Spalte aus Licht. Die Stelle ab erhält directes Licht, denn sie steht der Spalte gerade gegenüber. Nach c kommt gebeugtes Licht; die Strahlen, die von A bis B ausgehen und auf c fallen, sind sich nahezu parallel, interferiren also, und wenn Bc — Ac = $\frac{1}{2}$ Wellenlänge, so wird (Fig. 211) in c die Beleuchtung 0.4 derjenigen sein, welche man in ab findet. Ist Bd — Ad = $\frac{2}{2}$ Wellenlängen, so heben sich die Strahlen auf, man beobachtet also in d eine dunkle Stelle, in e, wo der Gangunterschied $\frac{3}{2}$ Wellenlängen beträgt, ist es wieder heller, in f, wo $\frac{4}{2}$ Gangunterschied zwischen Bf und Af ist, ist es wieder dunkel u. s. w. Was auf der einen Seite geschieht, muß auch auf der andern stattfinden und in c_1, d_1, e_1, f_1 wird ebenfalls ein Wechsel zwischen Licht und Dunkelheit eintreten.

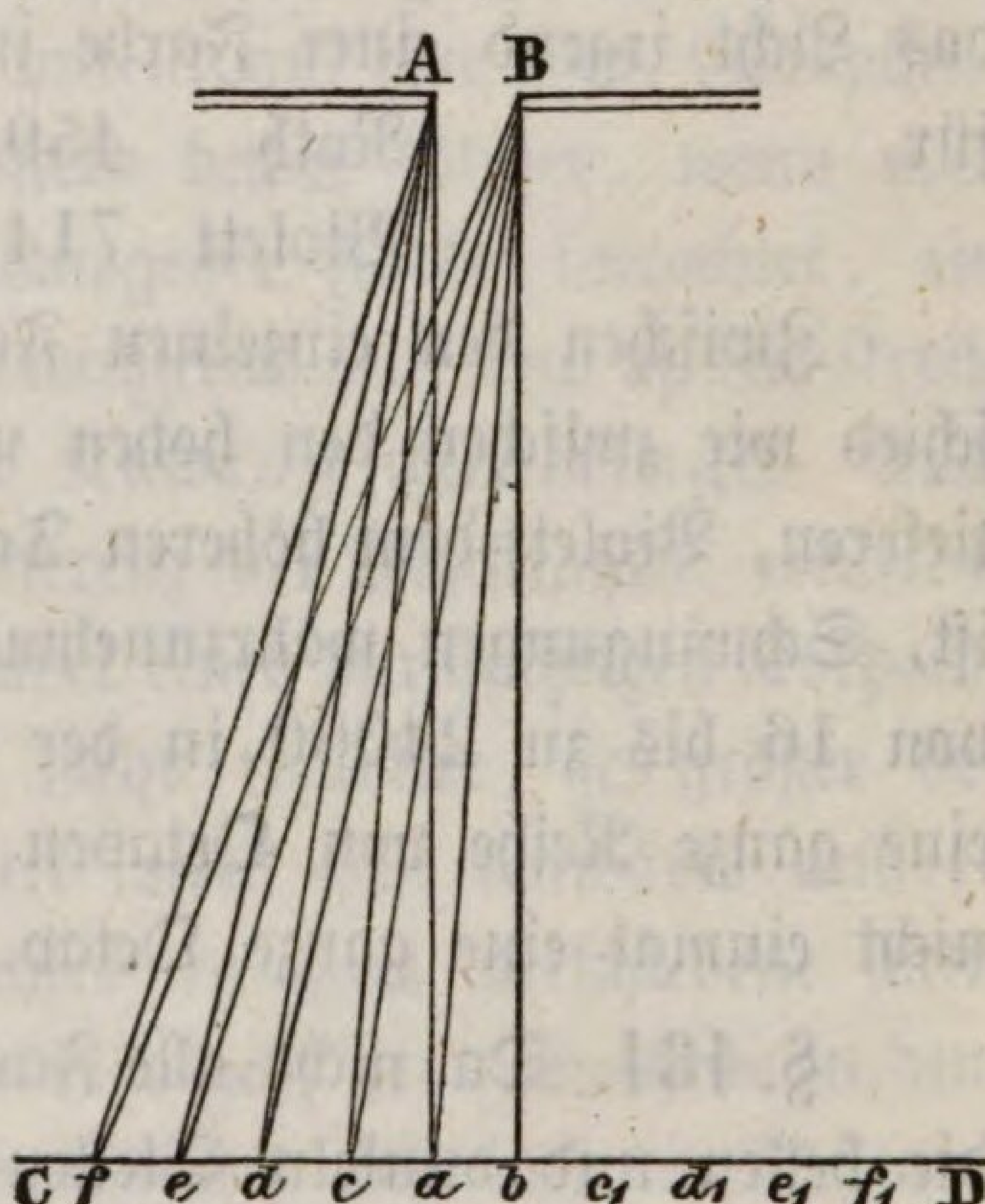


Fig. 214.

§. 183. Da in dem im vorigen Paragraphe erwähnten Falle Dunkelheit überall dort auftritt, wo der Unterschied der beiden äußersten Strahlen eine gerade Anzahl von halben Wellenlängen beträgt, müssen sich die dunkeln Stellen am Schirme um so rascher folgen, je

kleiner die Wellenlänge ist und dieser Umstand gibt, wenn man die Breite des Spaltes und die Richtung der sich aufhebenden Strahlen kennt, ein Mittel an die Hand, die Länge der Lichtwellen zu messen. Diese Wellenlänge ist für die Strahlen von verschiedener Farbe ungleich, sie beträgt für

mittleres	Roth	0.0000258	Zoll
„	Orange	0.0000224	„
„	Gelb	0.0000197	„
„	Grün	0.0000182	„
„	Blau	0.0000160	„
„	Violett	0.0000142	„

Aus der bekannten Geschwindigkeit des Lichtes (§. 129) und zufolge des Satzes, daß ein schwingendes Theilchen zu einer Oscillation eben so lange braucht als die Bewegung, um eine Wellenlänge vorzuschreiten (§. 106), ergibt sich leicht die Zahl der Schwingungen, welche das Licht irgend einer Farbe in einer Secunde macht. Diese beträgt für

für	Roth	459 000000 000000
	Violett	714 000000 000000

Zwischen den einzelnen Farben besteht also ein ähnlicher Unterschied wie zwischen den hohen und tiefen Tönen. Roth entspricht dem tieferen, Violett dem höheren Tone; aber während das Ohr im Stande ist, Schwingungen wahrzunehmen, deren Oscillations-Geschwindigkeit von 16 bis zu 24000 in der Secunde verschieden ist, so daß man eine ganze Reihe von Octaven über einander hat, umfaßt das Auge nicht einmal eine ganze Octav.

§. 184. Da nicht alle Farben dieselbe Wellenlänge haben, liegen die hellen und dunkeln Stellen der Fig. 214 näher oder ferner von einander, je nachdem man Licht von mehr oder minder brechbarer Farbe verwendet hat. Benützt man weißes Licht, also gleichzeitig alle Farben, so bekommt man keine dunkeln Stellen mehr, sondern nur eine Reihenfolge von verschiedenen Farben, da die dunkeln Stellen der einzelnen Strahlen nicht coincidiren und an die Stelle des Minimums der einen Farbe das Maximum der andern treffen kann und umgekehrt.

Bringt man mehrere Oeffnungen neben einander an, so zeigt jede derselben die Beugungs-Erscheinungen, es interferiren aber auch die Strahlen der verschiedenen Oeffnungen unter einander, die Farben, welche auf dem Schirm sichtbar werden müssen daher eine Combination der einzelnen Erscheinungen werden.

Man sieht diese Beugungs- und Interferenz-Erscheinungen sehr leicht, wenn man durch einen feinen Spalt, eine kleine Oeffnung oder durch ein feines Gitter nach einer Lichtquelle hinsieht. Hierauf beruhen die Farben, welche man gewahrt, wenn man durch ein Seidentuch etwa durch den Regenschirm nach der Sonne schaut. Auch Vogelfedern zeigen das Phänomen sehr schön, wenn man durch die Fahne gegen ein Licht sieht. Die farbigen Höfe, die man bisweilen um Sonne und Mond beobachtet, sind Beugungserscheinungen, bei denen die in der Luft befindlichen Nebelbläschen die Stelle des Gitters versehen. Sieht man durch die engen Zwischenräume, durch welche die Blätter eines Baumes die Sonnenstrahlen hindurchgehen lassen, so kann man das Farbenspiel gleichfalls gewahren.

Auch im reflectirten Lichte kann man die Beugungserscheinungen wahrnehmen, wenn die Oberfläche des reflectirenden Körpers feine spiegelnde Streifen enthält, denn es wirkt jeder derselben wie eine dünne Spalte, durch welche Licht aus dem Hintergrunde hervorkommt. Hierauf beruht das Farbenspiel der Perlmutter, schillernder Kleider, der Insectenflügel u. s. w.

§. 185. Wenn man eine nur äußerst wenig gekrümmte planconvexe Linse, die convexe Seite nach unten, auf eine ebene Glasplatte legt, so zeigt sich an der Berührungsstelle beider Gläser, wenn man sie von oben durch ein Glas von homogener Farbe betrachtet, ein schwarzer Fleck, um den herum sich abwechselnd helle und dunkle Kreise befinden. Man nennt diese Kreise die Newton'schen Ringe. Auch diese Erscheinung läßt sich durch Interferenz der Lichtstrahlen erklären.

Fällt ein Lichtstrahl auf einen Punct eines durchsichtigen Körpers, so wird bei schiefem Einfallen um so mehr reflectirt, je größer der Einfallswinkel wird, was nicht reflectirt wird, geht vorwärts und es findet daher eine Spaltung des Strahles in zwei verschiedene statt. Hat sich der reflectirte Theil abgesondert, so geht der gebrochene in dem neuen Medium in der durch das Brechungsgesetz angewiesenen Richtung fort und kommt endlich an der Gränze zwischen dem neuen Medium und einem dritten an. Dort geht wieder ein Theil zurück, der andere vorwärts, der reflectirte Theil kommt wieder an die Gränze zwischen dem ersten Medium und dem zweiten und dort geht wieder ein Theil im zweiten Medium zurück, während der andere in's erste weiter geht. Dieser so auf Umwegen in das ursprüngliche Medium zurückkommende Theil kann nun mit demjenigen, der gleich anfangs reflectirt wurde, zusammenkommen und mit ihm Interferenz-Erscheinungen veranlassen. Fällt der Lichtstrahl ab (Fig. 215) in b auf die Platte AB, so wird ein Theil nach d reflectirt, der andere wird nach e gebrochen. Dort spaltet er sich wieder, denn ein Theil geht nach g, der andere wird

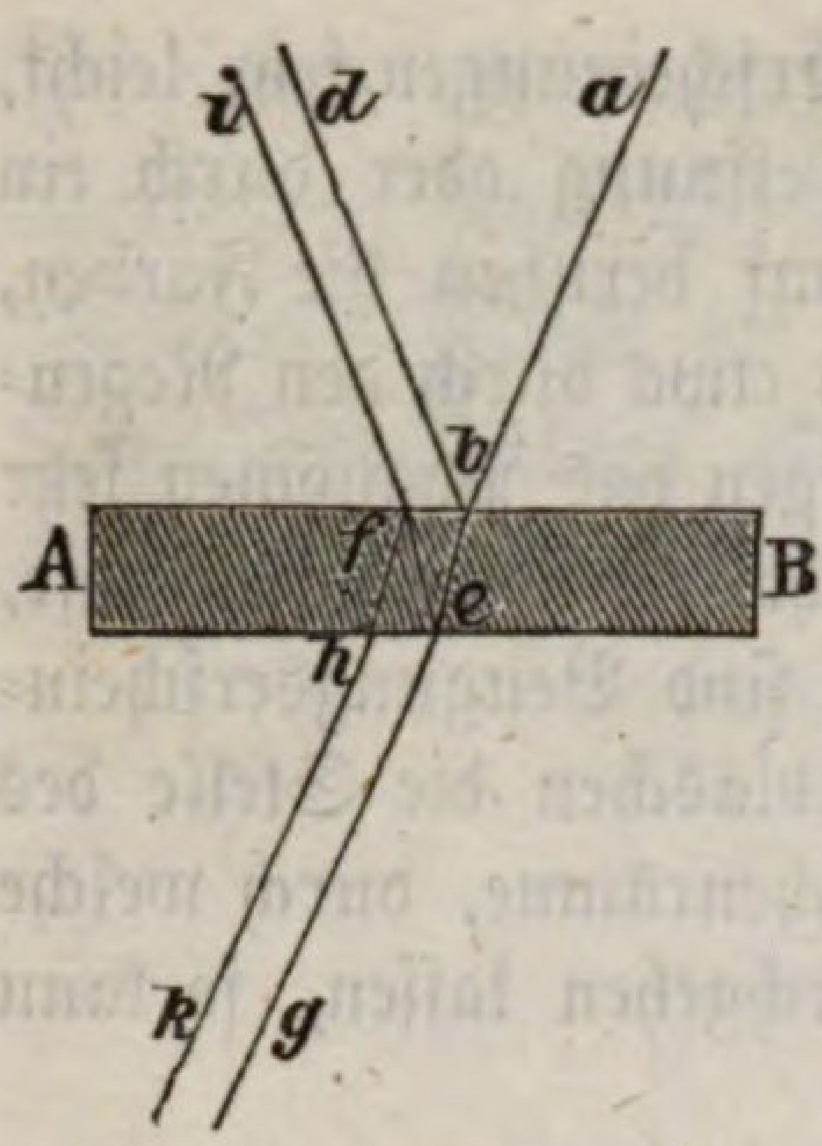


Fig. 215.

nach f reflectirt und dort erleidet er zum Theile eine neue Reflexion nach h, der Rest tritt in der Richtung i aus. Dieser Strahl fi läuft parallel mit dem ursprünglich reflectirten bd fort und beide geben einen Gesammteffect, der von dem Phasenunterschied der neben einander befindlichen Stellen abhängt. Man kann wohl annehmen, daß beide Strahlen als Theile des Strahles ab vor der ersten Theilung in b die gleiche Phase hatten, allein da der eine den Umweg bef gemacht hat, so wird diese Gleichheit im Allgemeinen nicht mehr stattfinden können, da es gerade so ist, als habe man den einen Strahl gegen den andern zurückgeschoben.

Beträgt die Verschiebung genau eine halbe Wellenlänge, so sind sich die Phasen beider Strahlen entgegengesetzt und der Gesammteffect wird der Differenz beider gleichkommen, während er deren Summe gleich ist, wenn die Verschiebung 2 halbe Wellenlängen beträgt. Man wird auch jedesmal das Extrem der Schwächung bekommen, so oft der eine Strahl eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen hinter dem andern zurück ist, während die größte Verstärkung dann eintritt, wenn der Unterschied eine gerade Zahl von halben Wellenlängen ausmacht.

Ist nun AB (Fig. 216) die Planconvexlinse, CD eine darunter befindliche Glasplatte, so ist die zwischen beiden Medien befindliche Luftschichte dasjenige Medium, an dessen Gränzen die oben erwähnten Spaltungen und Reflexionen des Lichtes stattfinden.

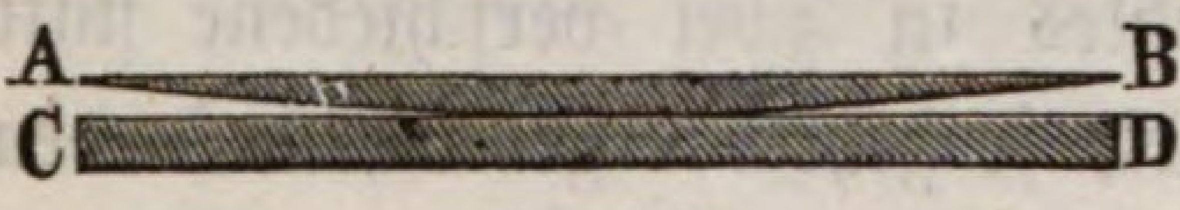


Fig. 216.

Da wo Linse und Glasplatte sich berühren, ist die Dicke der Luftschichte verschwindend klein, der Umweg, den der eine Strahl gemacht hat ebenso, und beide Strahlen sollten sich verstärken. Die Beobachtung zeigt jedoch das Gegentheil und es ergibt sich daher die Aufgabe, die Ursache davon zu suchen. Es beruht dieselbe auf der Verschiedenheit der Medien, in denen sich das Licht bewegt, denn nach Fresnel's Untersuchungen wird jeder Lichtstrahl, der an der Gränze zweier verschieden brechender Substanzen reflectirt wird, um eine halbe Wellenlänge verzögert, wenn die Reflexion innerhalb des stärker brechenden Mediums geschieht. Betrachten wir nun den in Fig. 216 dargelegten Vorgang genauer, so wird der eine Strahl innerhalb der

Linse an deren convexer Oberfläche reflectirt und dieser wird um $\frac{1}{2}$ Wellenlänge verzögert, während der andere an der Glastafel reflectirt wird und weder verzögert wird noch einen Umweg macht, also dem vorigen um $\frac{1}{2}$ Wellenlänge voraus ist. Die beiden reflectirten Strahlen vernichten sich also und an der Berührungsstelle von Linse und Tafel erblickt man einen dunkeln Fleck. Etwas außerhalb des Centrums möge die allmählig dicker werdende Luftschichte $\frac{1}{4}$ Wellenlänge betragen. In diesem Falle wird der eine innerhalb der Linse reflectirte Strahl durch die Art seiner Reflexion um $\frac{1}{2}$ Oscillation verzögert, während der durch die Luft hin und hergehende Strahl einen Umweg von 2mal $\frac{1}{4}$ Wellenlänge macht. Es sind jetzt beide Strahlen um eine halbe Oscillation zurück, sie oscilliren daher gleichmäßig und die Stelle erscheint hell. Wenn die Dicke der Luftschichte $\frac{1}{2}$ Wellenlänge ist, so beträgt der Umweg des durch die Luft gehenden Strahles $\frac{2}{2}$ Wellenlängen, die Verzögerung des andern Strahles ist constant $\frac{1}{2}$ Oscillation, es resultirt also ein Gangunterschied von $\frac{1}{2}$ Welle und die betreffende Stelle ist dunkel. In dieser Weise geht es weiter.

Die in Fig. 216 dargestellte Convexlinse berührt ihre ebene Unterlage an einem Puncte und rings um diesen in concentrischen Kreisen wird der Abstand beider Körper von einander größer und größer. Die Folge davon ist, daß der Lichtwechsel sich in concentrischen Kreisen zeigt.

Auch im durchgehenden Lichte kann man die vorstehenden Interferenzfarben wahrnehmen, die dann durch Zusammenwirkung der Strahlen eg und hk (Fig. 215) entstehen, da hier wieder einer derselben (hk) einen Umweg (efh) gemacht hat.

Betrachtet man die Erscheinung durch ein homogen gefärbtes Glas, so beobachtet man abwechselnd dunkle und helle Ringe, die sich einander um so mehr nähern, je kürzer die Wellenlänge der von dem Glase durchgelassenen Farbe ist. Bei Anwendung von weißem Lichte erhält man nicht dunkle und helle, sondern verschieden gefärbte Ringe. Die Ursache ihrer Entstehung ist dieselbe, welche oben (§. 184) bei Besprechung der durch Beugung hervorgebrachten Interferenzfarben angegeben wurde.

Nach Wilde beruht das Erscheinen des dunkeln Fleckes in der Mitte der Linse darauf, daß an dieser Stelle nur sehr wenig Licht reflectirt wird und der größte Theil durchgeht.

Man beobachtet die Erscheinung der Newton'schen Ringe an allen denjenigen durchsichtigen Körpern, welche sehr dünn sind, wie z. B. an den

Seifenblasen, an der dünnen Haut, die sich bildet, wenn man ein paar Tropfen Oel auf Wasser schüttet, an den Sprüngen, die sich im Glase oder andern durchsichtigen Gegenständen befinden. Die sogenannten Anlauffarben, die sich auf Eisen und andern Metallen zeigen, rühren von einer sehr dünnen Oxydschichte her, durch welche das Licht hin und zurückgehen kann.

Durch Bestimmung der Dicke der zwischen der Glasplatte und der Linse befindlichen Luftschichte, die sich durch Messung der einzelnen Ringdurchmesser leicht ermitteln läßt, da der Radius der Linsenkrümmung bekannt ist, kann man auch die Länge der Lichtwellen für die einzelnen Farben bestimmen und kommt dabei zu demselben Resultate, das man bei den durch Beugung hervorgerufenen Interferenzen erhält und von dem schon im §. 183 gesprochen wurde.

§. 186. Es wurde oben §. 178 angegeben, daß man die Erscheinungen des Lichtes durch Schwingungen eines sehr dünnen höchst elastischen Mediums, des Aethers, erkläre und daß die Schwingungen der einzelnen Aethertheilchen analog den Bewegungen des schwingenden Seiles senkrecht auf derjenigen Richtung stattfinden, nach der sich der Strahl bewegt. Dadurch bekommt der Strahl eine Seitlichkeit d. i. sein Verhalten gegen die einzelnen Seiten wird ein verschiedenes. Bewegt sich z. B. (Fig. 217) ein Strahl so, daß seine Richtung auf der Ebene des Papieres senkrecht steht und dasselbe in o trifft, daß er also einer in o auf das Papier gezogenen Senkrechten entlang läuft, so wird die Bewegung eines jeden Aethertheilchens in einer Richtung erfolgen, welche mit der Ebene des Papieres parallel läuft, während das Theilchen o in der Ebene des Papieres hin- und her schwingt.

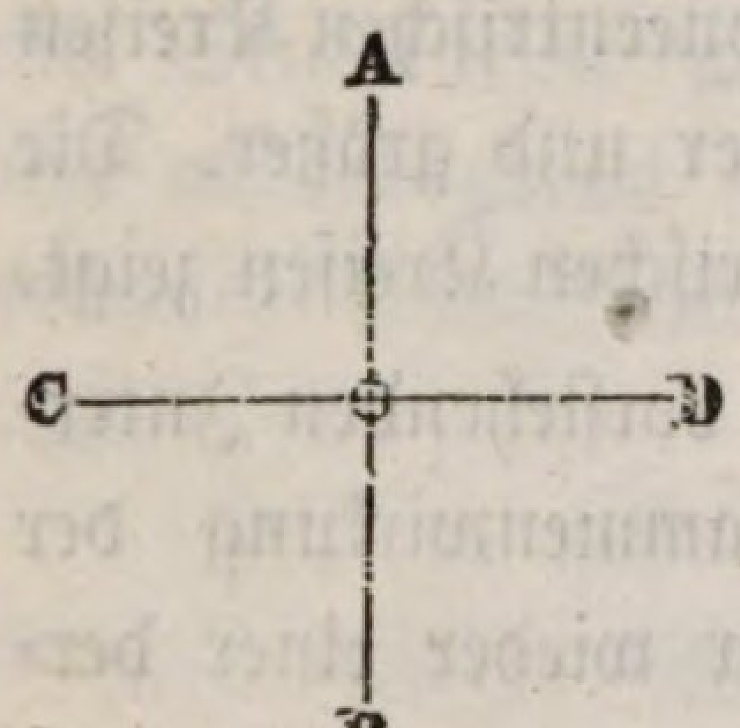


Fig. 217.

Man kann aber noch in dieser Ebene eine Richtung der Bewegung wahrnehmen und diese sei die zwischen A und B. Das Verhalten des Aethertheilchens ist daher nach dieser Richtung ein anderes als das nach der Richtung CD, in der es sich nicht bewegt. Diejenigen Aethertheilchen, die in der Ruhelage senkrecht über oder unter o stehen, bewegen sich dann ebenfalls in Geraden, die sich senkrecht über oder unter AB befinden; durch alle diese Geraden kann man sich eine Ebene gelegt denken, die natürlich auch senkrecht auf der Ebene des Papieres steht und sie in AB schneidet. Diese Ebene ist die Vibrations- oder Schwingungsebene. Man kann sich auch eine auf der Ebene des Papieres senkrechte Ebene denken, welche diese in CD schneidet, die also auch senkrecht auf der Vibrationsebene ist und diese möge die Polarisationsebene des Strahles heißen.

Gesetzt ein gewöhnlicher Lichtstrahl habe eine Richtung, vermöge deren er sich von einem senkrecht über oder unter o stehenden Puncte gegen dieses hinbewegt, so wird derselbe aus Elementarstrahlen bestehen, von denen der eine in der einen, der andere in der andern Weise schwingt, es kann die Schwingungsebene des einen derselben die ABebene, die eines andern kann die CDebene oder eine beliebige zwischen beiden sein. Ein solcher Strahl, bei dem die Schwingungen nach allen möglichen Richtungen erfolgen, wird sich gegen alle indifferent verhalten, er heißt ein gewöhnlicher oder nicht polarisirter Strahl. Ist dagegen ein Lichtstrahl so geartet, daß alle die Elementarschwingungen, aus denen er besteht, nur in der einen Richtung und in keiner andern vor sich gehen, so heißt er polarisirt, er ist auf diejenige Ebene polarisirt, die auf der Schwingungsebene senkrecht steht. Ein Lichtstrahl ist unvollkommen polarisirt, wenn seine Elementarwellen wohl vorzugsweise aber nicht ausschließlich dieselbe Schwingungsrichtung haben.

Die einfachste Art einen Lichtstrahl ab (Fig. 218) zu polarisiren ist die, daß man denselben vermittelst eines Heliostaten auf 6 — 8 Platten von weißem Glase AB leitet, welche wir so gestellt denken wollen, daß AB ihre Basis bezeichnet. In diesem Falle theilt sich der Strahl in 2 verschiedene, von denen der eine nach erfolgter Brechung

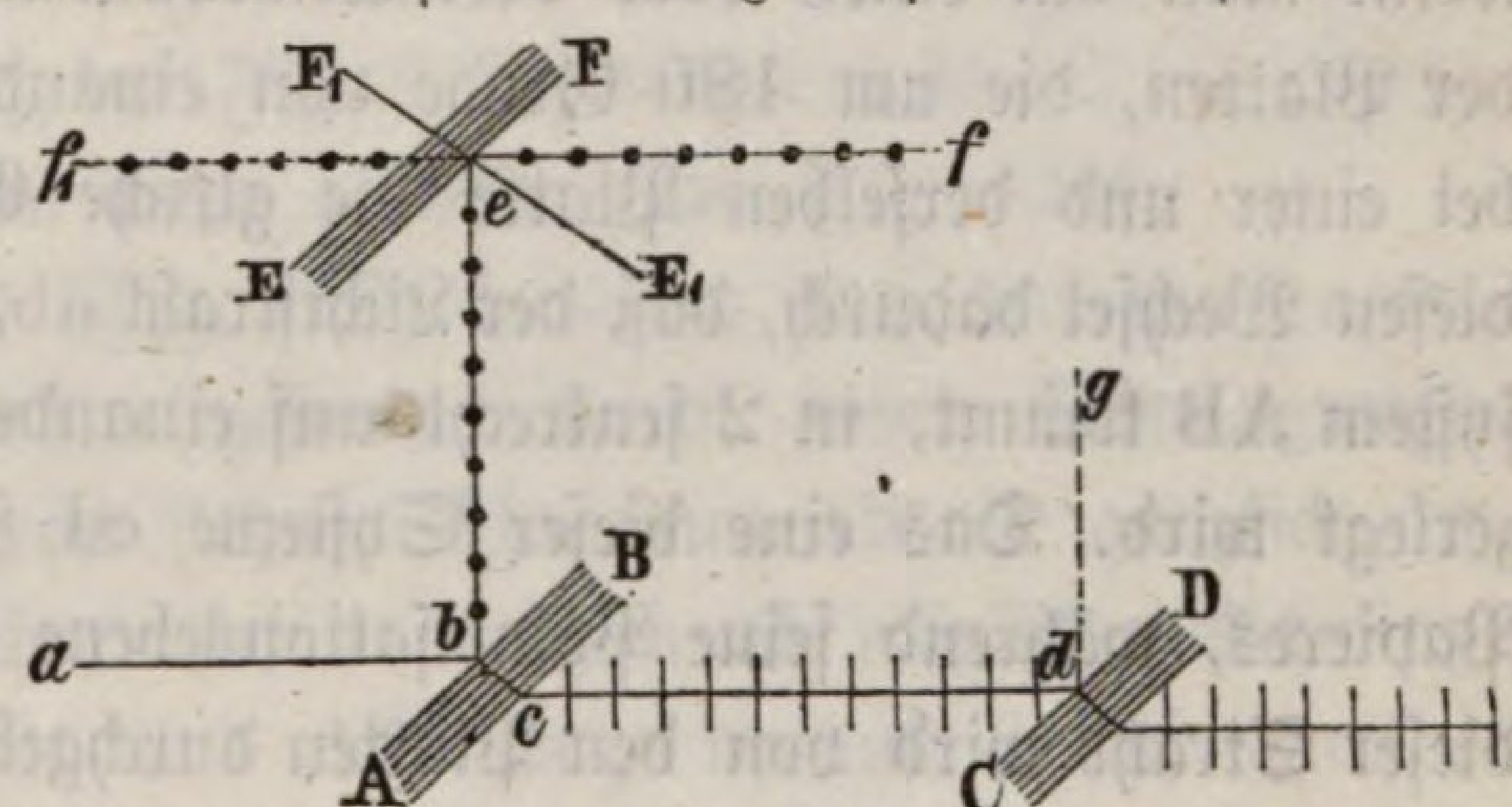


Fig. 218.

durch AB hindurchgeht und die Richtung cd verfolgt, während der andere nach e reflectirt wird. Betrachten wir zuerst den Strahl cd genauer, so ist dieser von ab nicht nur dadurch verschieden, daß er schwächer ist, weil be nach einer andern Richtung ging und also hier nicht mehr thätig sein kann, sondern auch dadurch, daß, wenn er auf ein neues System von Glasplatten CD fällt, er insoweit er nicht im Glase selbst absorbirt wird, durchgeht, aber nicht nach g reflectirt wird, wie dieses bei Abwesenheit von AB wenigstens für einen Theil der Fall wäre. Während also ab sich in 2 Theile spaltete, ist dieses bei cd nicht mehr der Fall, und da wir voraussetzen, daß die Glasplatten CD dieselbe Neigung gegen den Strahl haben wie die Platten AB, so muß das abweichende Verhalten einer Verschiedenheit der Strahlen ab

und cd zugeschrieben werden. Ganz analog sind die Eigenschaften des Strahles be, denn fällt er auf die Glasplatte EF, so wird er wieder wie bei AB reflectirt und auch er spaltet sich nicht in einen durchgehenden und in einen reflectirten Strahl. Es ergibt sich daraus, daß der Lichtstrahl ab durch die Glasplatten AB in 2 von einander verschiedene Strahlen getrennt worden ist, von denen der eine bei gleicher Stellung der Plattensysteme stets durchgeht, der andere stets reflectirt wird. Dreht man die Platten CD ohne den Winkel cdC zu ändern um die Gerade cd als Axe bis er mit der früheren Stellung einen Winkel von 90 Graden macht, so wird der Strahl cd nicht mehr durchgelassen, sondern reflectirt, dreht man aber die Platten um 180 Grade, so ist die Erscheinung dieselbe, wie sie vor der Drehung war, während bei 270 Graden wieder die Reflexion eintritt. Dreht man die Platten EF ohne den Winkel beE zu verändern 90 oder 270 Grade um be als Axe, so wird der vorher reflectirte Strahl durchgelassen, er wird aber reflectirt, wenn man nur um 180 Grade dreht. Man findet also bei jeder Platte eine Abwechselung der Erscheinungen, wenn man um einen oder drei Quadranten dreht und die Stellungen der Platten, die um 180 Grade von einander verschieden sind, bieten bei einer und derselben Platte die gleiche Erscheinung. Man erklärt diesen Wechsel dadurch, daß der Lichtstrahl ab, wenn er auf das Plattensystem AB kommt, in 2 senkrecht auf einander polarisirte Wellensysteme zerlegt wird. Das eine dieser Systeme cd schwingt in der Ebene des Papieres, während seine Polarisationsebene senkrecht darauf steht und dieser Strahl wird von den Platten durchgelassen, während das andere System bc, das senkrecht auf der Ebene des Papieres schwingt, reflectirt wird. Ist z. B. AB (Fig. 219) die Glasplatte, CD die Ebene, in welcher der Strahl da schwingt, so wird derselbe reflectirt und ab gibt die Richtung an, die er dadurch bekommt; er geht dagegen hindurch,

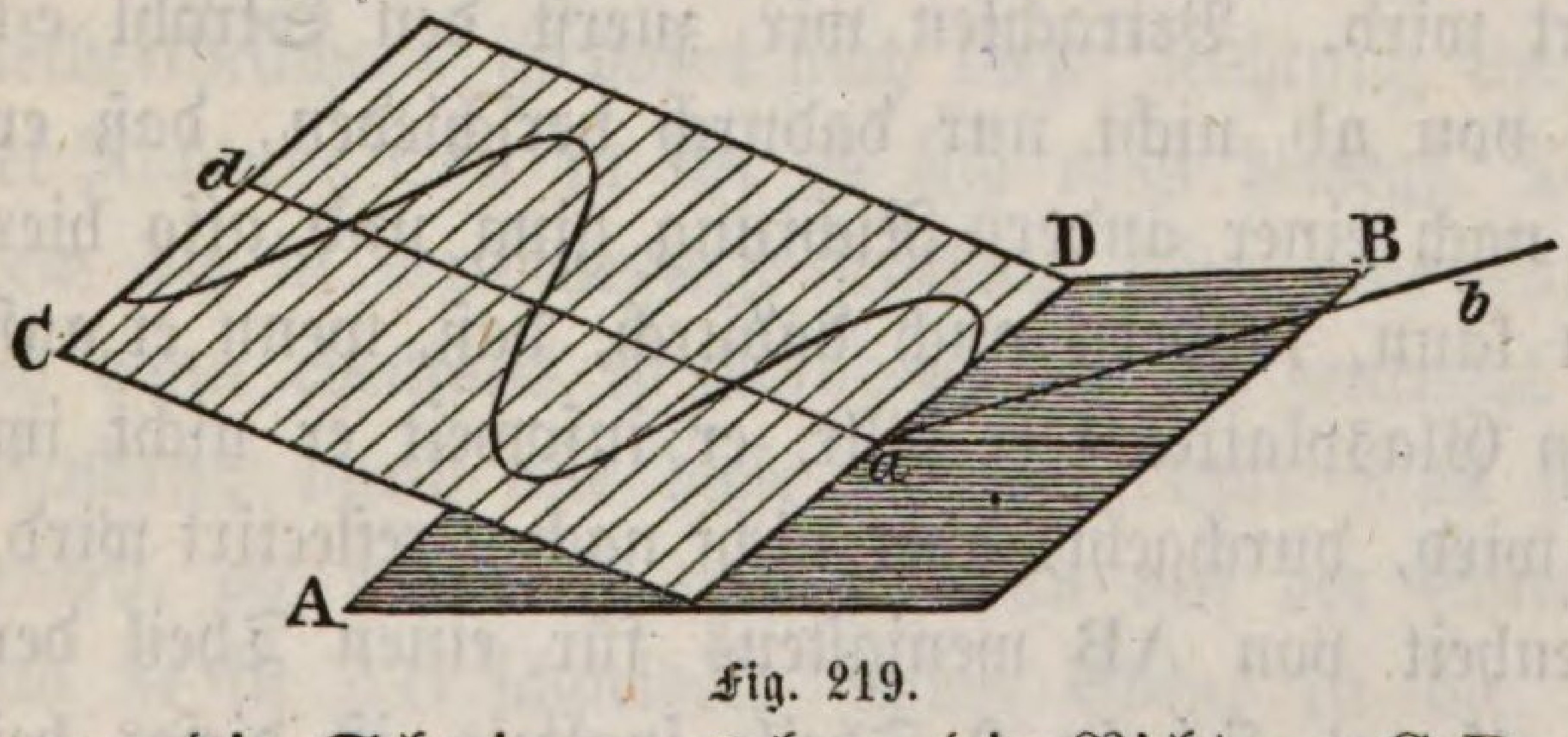


Fig. 219.

wenn die Schwingungsebene die Richtung C_1D_1 (Fig. 220) hat, und nach dem Durchgehen verfolgt er die Richtung a_1b_1.

Man sieht nun sehr leicht, daß die Platte EF (Fig. 218) den Strahl be reflectiren muß, denn die Stellung der Platte und der

Schwingungsebene entspricht der Fig. 219; dreht man aber EF um 90° so, daß be als Axe betrachtet wird und der Winkel beE unverändert bleibt, daß also das Ende E über die Ebene des Papieres heraustritt und das Ende F unter dieselbe zu stehen kommt, so hat die Platte gegen die Schwingungsebene diejenige Stellung, welche der Fig. 220 entspricht und der Strahl geht durch. Bei einer Drehung um 180° bekommt die Platte die Stellung E_1F_1, es tritt nach Fig. 219 wieder Reflexion ein und der Unterschied zwischen dieser und der ursprünglichen Stellung ist nur der, daß der reflectirte Strahl nach f_1 geht und nicht wie früher nach f. Bei einer Drehung von 270° tritt wieder der Fall der Fig. 220 ein. Gehen wir nun zur Platte CD über, so muß diese bei Drehungen von 90 und 270 Graden um die Axe cd reflectiren (Stellung der Fig. 219), während dieses bei 0° und 180° Drehung durchgelassen wird (Stellung der Fig. 220).

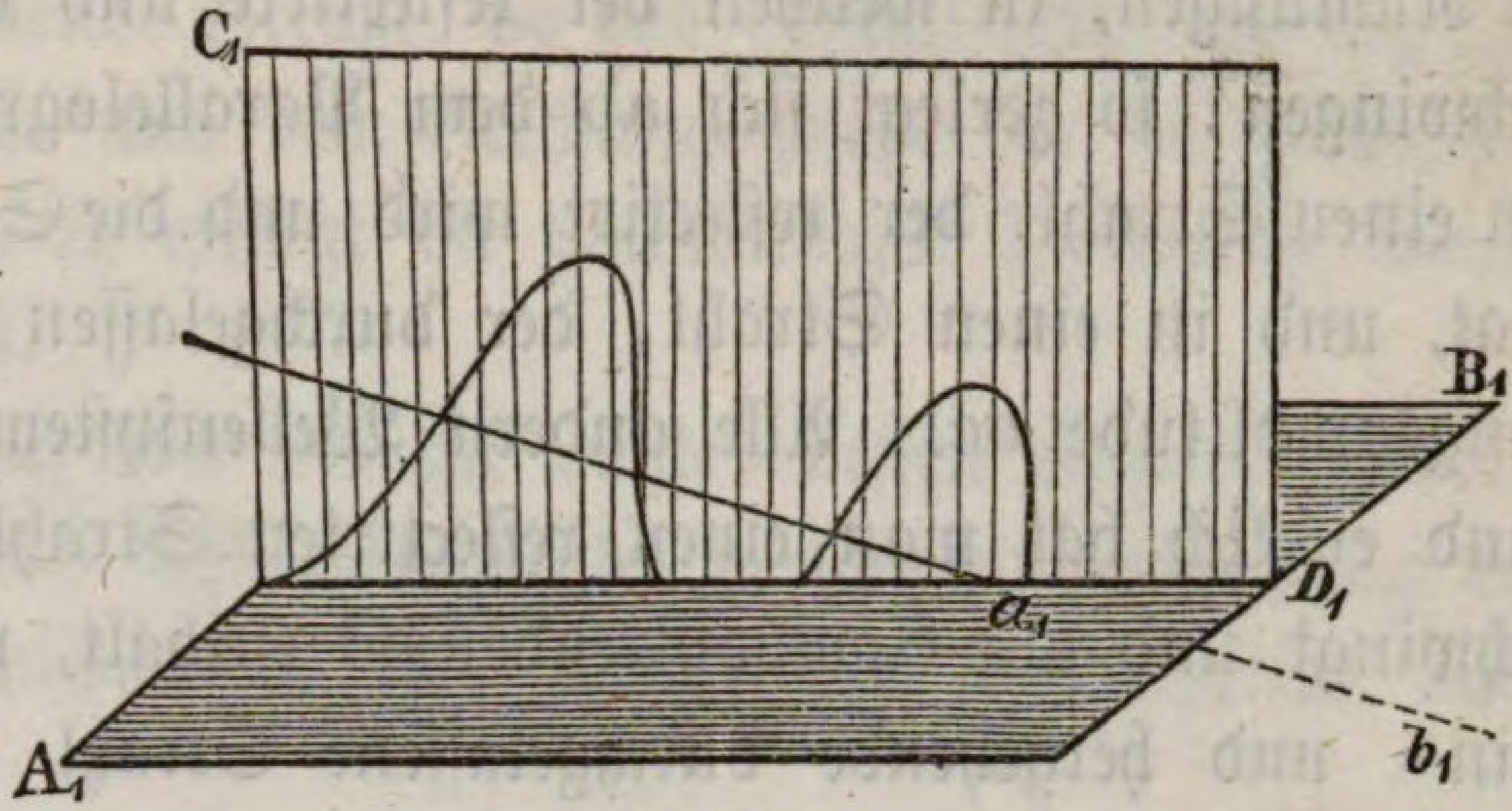


Fig. 220.

Die Glasplatten AB (Fig. 218) bewirken, daß das vorher unpolarisirte Licht in 2 Strahlen gesondert wird, deren Schwingungs-Ebenen auf einander senkrecht stehen. War nun ab ein gänzlich unpolarisirter Strahl, ein solcher also, in welchem alle möglichen Schwingungs-Richtungen vorkommen und AB macht daraus 2 auf einander senkrecht polarisirte, so müssen die Zwischenrichtungen umgeändert worden sein und diese Aenderung vollzieht sich nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte. Ist nämlich o (Fig. 221) derjenige Punct, wo ein senkrecht herabkommender Lichtstrahl die Ebene des Papieres schneidet und ist ab die Richtung einer seiner Schwingungen, ao die Schwingungsamplitude, das Maximum, um welches sich das in o in der Gleichgewichtslage befindliche Aetherthheilchen von derselben entfernt, sind ferner AB und CD die

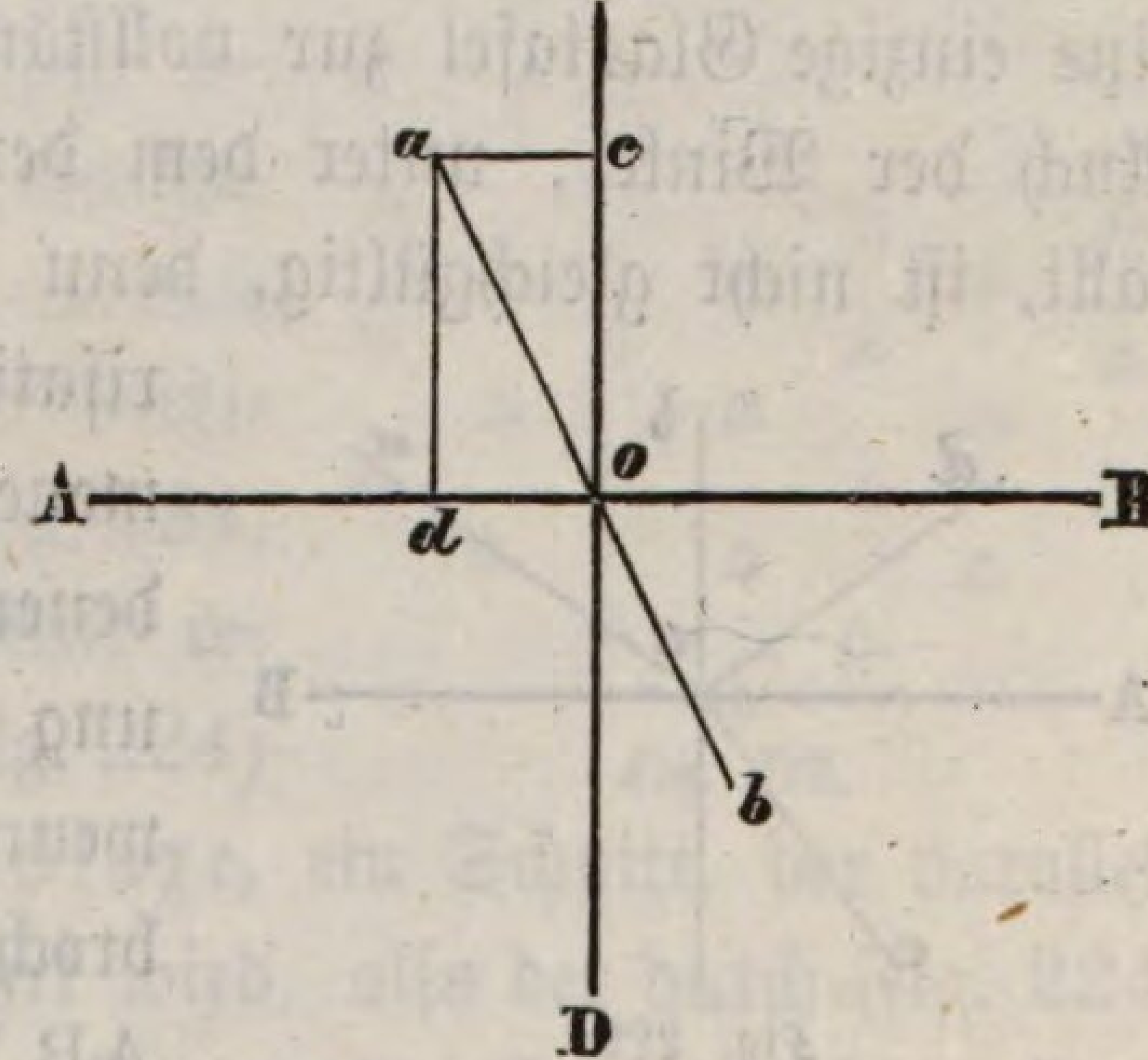


Fig. 221.

2 Richtungen, in welchen der reflectirte und der durchgelassene Strahl schwingen, so zerlegt sich ab dem Parallelogramm der Kräfte analog in einen Strahl, der reflectirt wird und die Schwingungsamplitude od hat, und in einen Strahl, der durchgelassen wird mit der Schwingungsamplitude oc. Alle andern Wellensysteme werden analog zerlegt und endlich hat man einen reflectirten Strahl, der in der Ebene AB schwingt und alle Componirenden od enthält, während der zwischen CD hin- und hergehende durchgelassene Strahl alle Componirenden oc umfaßt.

Ist der Strahl ab vollständig unpolarisirt, so müssen in ihm alle Schwingungsrichtungen gleichmäßig vertreten sein und die Strahlen, in die sie durch die polarisirenden Platten zerlegt werden, müssen stets gleiche Intensität haben, es mögen die 2 aufeinander senkrechten Richtungen sein, welche immer sie wollen. Enthält der Lichtstrahl ab schon einen Theil polarisirten Lichtes, so wird es eine Stellung der Platten geben, in welcher die Intensität des reflectirten Strahles von der des durchgelassenen verschieden ist und wo diese Verschiedenheit ein Maximum erreicht. Es ergibt sich hieraus ein Mittel, ganz oder theilweise polarisirtes Licht von unpolarisirtem zu unterscheiden.

Das Licht der Selbstleuchter ist unpolarisirt, das irgendwo reflectirte Licht meistens zum Theile polarisirt, und wenn daher ein Lichtstrahl ganz oder theilweise polarisirt ist, so kann man schließen, daß der Körper, von dem es herkommt, kein Selbstleuchter sei. Durch Anwendung dieses Satzes hat Arago gezeigt, daß die Planeten und Kometen keine Selbstleuchter sind.

Hätte man in der Fig. 218 angedeuteten Vorrichtung statt mehrerer Glasplatten nur eine einzige genommen, so hätte man auch in CD und EF nur theilweise polarisirtes Licht bekommen und es ist daher eine einzige Glastafel zur vollständigen Polarisation nicht hinreichend. Auch der Winkel, unter dem der unpolarisirte Strahl auf AB auffällt, ist nicht gleichgültig, denn je nach seiner Größe wird die Polarisation eine mehr oder minder vollkommene. Nach dem von Brewster aufgefundenen Gesetze ist das Maximum der Trennung der Lichtstrahlen dann vorhanden, wenn der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht. Ist daher (Fig. 222) AB die Oberfläche des polarisirenden Kör-

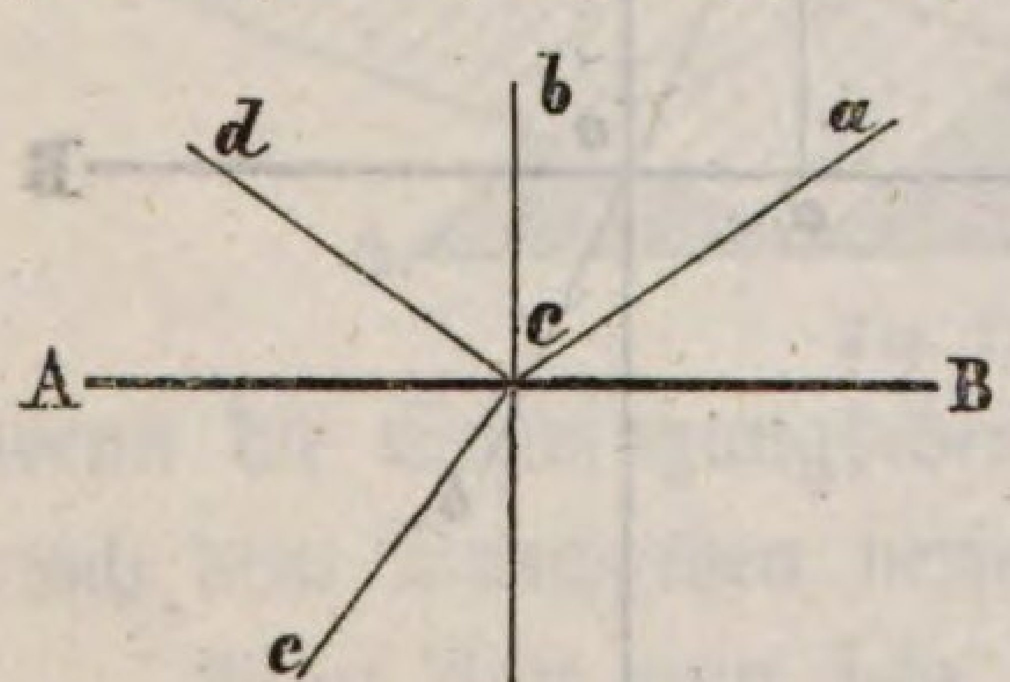
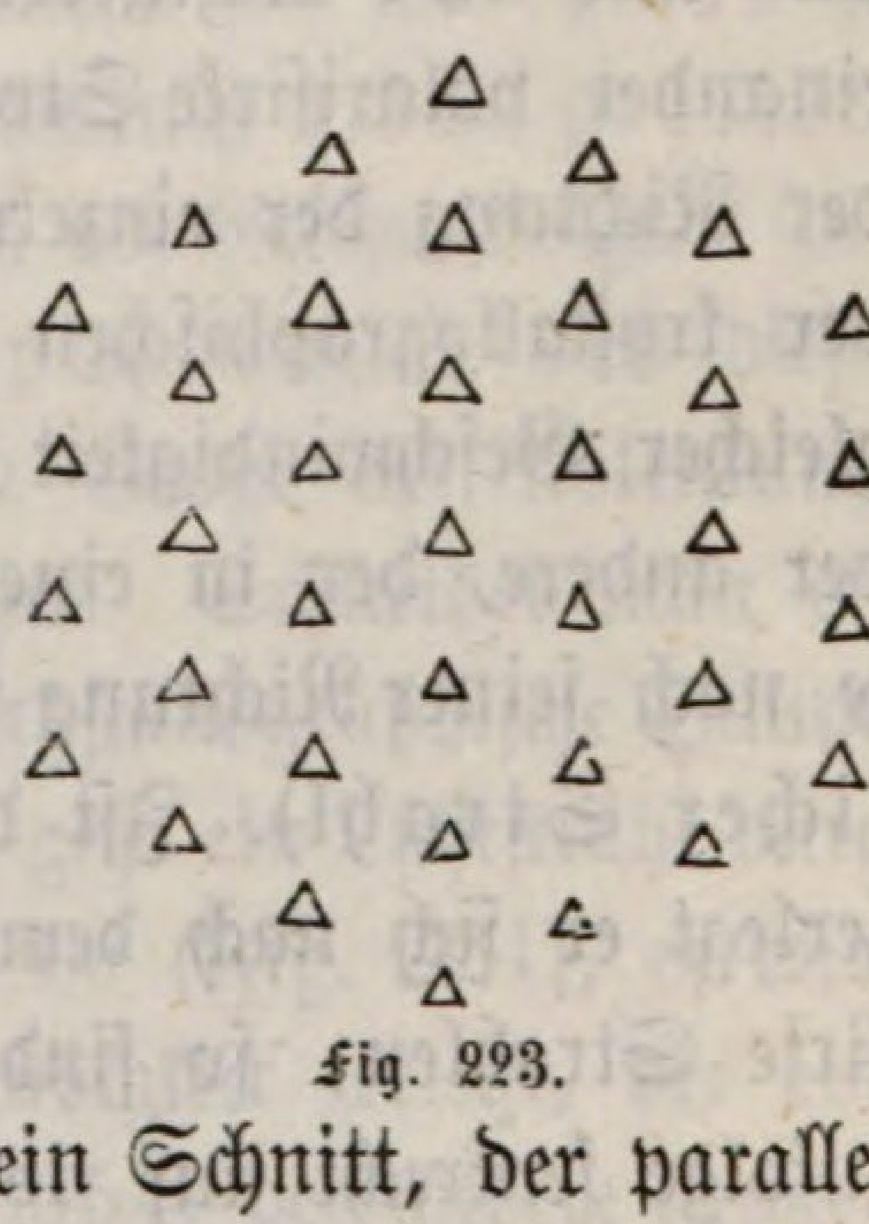


Fig. 222.

pers, ac der hereinkommende Strahl, bc das Einfallsloth und ergeben sich nach dem Reflexions- und dem Brechungsgesetze für die betreffenden Strahlen cd und ce, so erfolgt die vollständigste Trennung, wenn cd auf ce senkrecht steht.

Bei der Anwendung von weißem Lichte, dessen einzelne Farben bei gleichem Einfalls- und Reflexionswinkel verschiedene Brechung erleiden, ist daher eine vollständige und gleichzeitige Polarisation aller Farben unmöglich.

§. 187. Nach §. 180 hat man die Erscheinung der Brechung dem Umstande zuzuschreiben, daß die Dichtigkeit des Aethers nicht in allen Körpern gleich ist. So lange ein Lichtstrahl in einem Medium fortläuft, dessen Aetherdichtigkeit überall dieselbe bleibt, so lange wird auch seine Geschwindigkeit, seine Richtung unverändert bleiben, wenn er aber in einen Körper übertritt, in welchem der Aether eine andere Dichtigkeit hat, so ändert sich auch seine Geschwindigkeit. Ist daher ein Körper überall gleichförmig, so ist die Bewegung des Lichtes geradlinig, im entgegengesetzten Falle weicht er ab und darum läßt sich auch Glas, in dem sich sogenannte Wellen, die eine Ungleichartigkeit der Masse anzeigen, befinden, zu optischen Zwecken nicht benützen. Ist in einem Körper die Vertheilung des Aethers nach den einzelnen Richtungen verschieden, so ist es auch die Geschwindigkeit des Lichtes. Solche Körper finden sich unter den Krystallen, denn zeigen die Fig. 223 und 224 eine der möglichen Constructionen eines Krystalles an, so ist einleuchtend, daß ein Lichtstrahl, der ihn in der Richtung der Axe durchzieht, dieses unter andern Verhältnissen thut, als ein solcher, der senkrecht auf diese gerichtet ist.


Fig. 223.

Man kann einen solchen Krystall als aus beliebig vielen Lagen von der in Fig. 223 angegebenen Construction zusammengesetzt betrachten, wobei diese Lagen mehr oder weniger von einander entfernt sind und eben so viele Stockwerke bilden. Dadurch erhält der Verticalschnitt des Krystalles die Form der Fig. 224, während Fig. 223 den Horizontalschnitt repräsentiren möge. Die Gerade ab (Fig. 224) heißt die krystallographische Hauptaxe, ein Schnitt, der parallel zur Hauptaxe durch den Krystall geführt wird, also der durch Fig. 224 vorgestellte, heißt ein Hauptschnitt. Die materiellen Theilchen sind

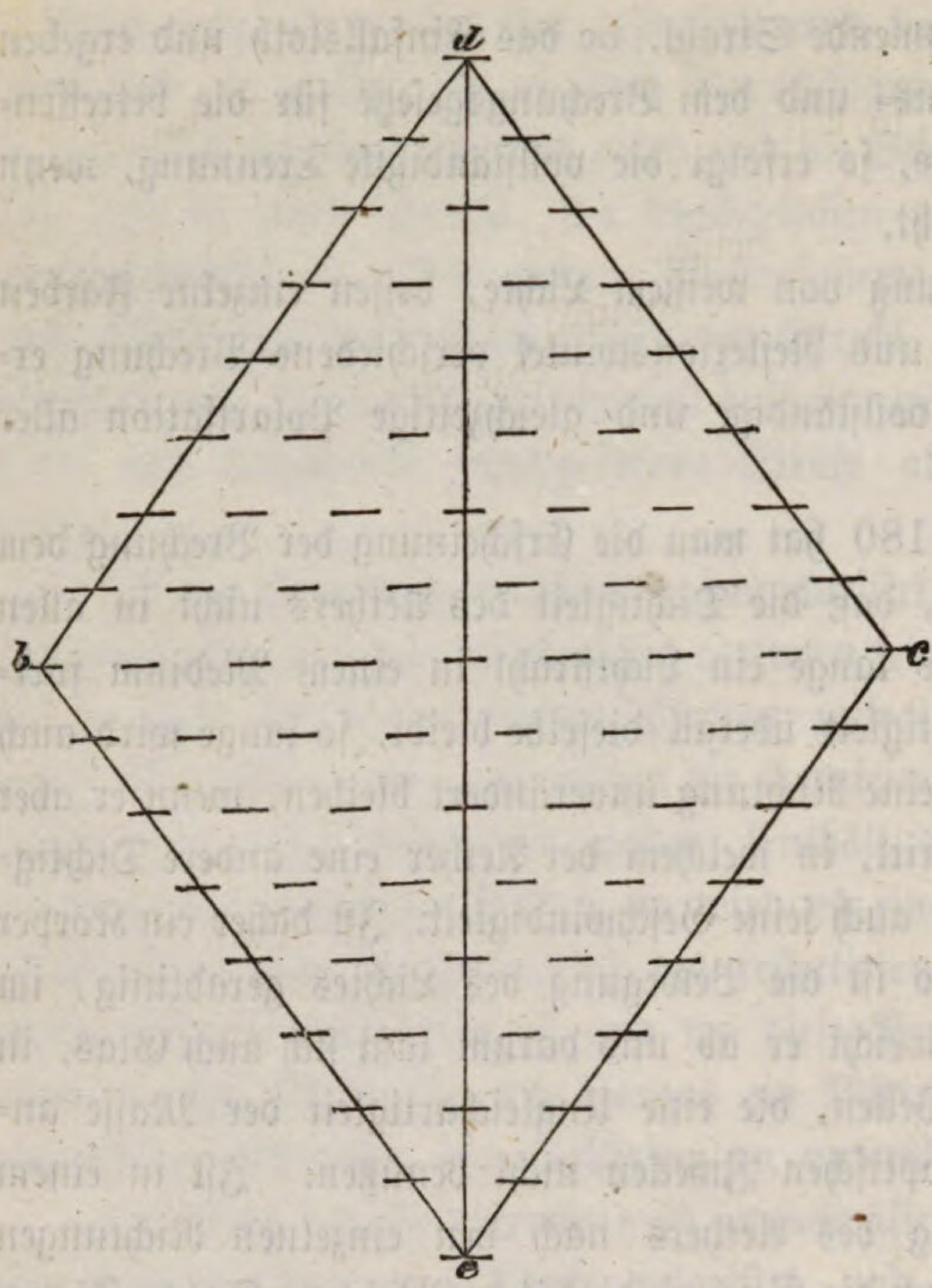


Fig. 224.

im Krystalle nach den beiden auf einander senkrechten Richtungen de und bc (Fig. 224) in verschiedener Weise angeordnet und darum sind es auch die Aethertheilchen, welche Hüllen um die Molecüle bilden und in ihrer Vertheilung von der letzteren abhängig sind. Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Strahl fortpflanzt, ist abhängig von der Vertheilung des Aethers, wie sie in der Richtung stattfindet, in der die Schwingungen des Strahles vor sich gehen. Ist daher die Aethervertheilung nach verschiedenen Richtungen verschieden, so ist es auch die Geschwindigkeit der Strahlen, von denen der eine die eine, der andere die andere Schwingungsrichtung hat.

Kommt ein Lichtstrahl in einen Körper von der durch die Figuren 223 und 224 angegebenen Construction, so wird er in 2 senkrecht auf einander polarisirte Strahlen zerlegt, von denen der eine parallel mit der Richtung der einzelnen Stockwerke und senkrecht auf der Richtung der krystallographischen Hauptaxe schwingend den Krystall mit stets gleicher Geschwindigkeit durchzieht (ordentlicher Strahl), während der andere, der in einer mit der Hauptaxe parallelen Ebene schwingt, je nach seiner Richtung seine Geschwindigkeit verändert (außerordentlicher Strahl). Ist die Richtung des Strahles die der Axe de und zerlegt er sich nach dem Eintritte in 2 senkrecht auf einander polarisirte Strahlen, so finden die Schwingungen des einen dem §. 186 zufolge senkrecht auf de und in der Ebene dbec (Fig. 224) statt und die Schwingungen des andern sind gleichzeitig senkrecht auf de und auf der Ebene dbec. Steht also die Axe de vertical, so sind die Schwing=

ungsrichtungen alle horizontal und gehen alle in den Ebenen der Fig. 223 vor sich. Die von der Vertheilung abhängige Elasticität des Aethers ist vermöge der Construction der Horizontalebenen in allen Horizontalrichtungen die gleiche und darum ist es auch die Geschwindigkeit der beiden Strahlen. Der gleiche Fall findet jedesmal statt, sobald die beiden Strahlen eine der Hauptaxe parallele Richtung verfolgen.

Gehen die 2 senkrecht auf einander polarisirten Strahlen in der Richtung bc, so schwingen beide senkrecht auf bc und außerdem bei verticaler Stellung von de der eine horizontal, der andere vertical. Der erstere dieser beiden Strahlen schwingt wieder unter denselben Umständen wie die beiden Strahlen des vorigen Falles (ordentlicher Strahl), der andere dagegen, dessen Schwingungen nicht von der Molecularvertheilung Fig. 223, sondern von der Vertheilung 224 abhängig sind, weil seine Schwingungen senkrecht vor sich gehen, befindet sich unter andern Verhältnissen und er pflanzt sich daher auch mit einer andern Geschwindigkeit fort (außerordentlicher Strahl).

Vergleicht man die beiden Fälle, so ergibt sich, daß die je nach der Richtung des Strahles wechselnde Geschwindigkeit diejenigen Strahlen trifft, deren Schwingungsebene mit der des Hauptschnittes dbec zusammenfällt. Bei der Richtung de der 2 Strahlen ist die Geschwindigkeit des außerordentlichen eben so groß als die des ordentlichen; bei der Richtung bc ist sie je nach dem Krystall entweder kleiner oder größer. Im ersteren Falle heißt der Krystall positiv, im zweiten negativ. In dem (negativen) Kalkspath verhält sich die Geschwindigkeit des außerordentlichen Strahles bc zu der des ordentlichen bc wie 1.654 zu 1.483; in dem (positiven) Quarze ist das Verhältniß 1.548 zu 1.558. Nach §. 180 ist der Brechungscoëfficient n von der Geschwindigkeit des Lichtes abhängig, er ist derselben umgekehrt proportional, und dieser Brechungscoëfficient selbst bedingt wieder die Größe der Ablenkung, welche ein Lichtstrahl durch ein Prisma erfährt. Schneidet man ein Prisma so aus einem Kalkspath, daß seine krystallographische Hauptaxe mit der brechenden Kante parallel ist, und geht ein Lichtstrahl durch dasselbe, so entspricht seine Richtung der von bc (Fig. 224), er wird also in 2 Strahlen von verschiedener Geschwindigkeit zerlegt, der eine (ordentliche) wird dem Brechungscoëfficienten 1.654, der andere (außerordentliche) dem Brechungscoëfficienten 1.483 entsprechend gebrochen. In Folge dessen werden die beiden Strahlen verschieden abgelenkt und

man erhält statt eines Bildes deren zwei; aber die das eine derselben bildenden Schwingungen finden parallel mit der Axe, die des andern senkrecht darauf statt. Ist dagegen die Axe in dem Prisma so gelegen, daß sie die Richtung des das Prisma symmetrisch durchziehenden Lichtstrahles (§. 145) hat und geht ein Strahl in dieser Richtung durch, so wird er allerdings auch in 2 auf einander senkrecht polarisirte Strahlen getrennt, aber Brechung und Ablenkung sind bei beiden gleich, sind die des ordentlichen Strahles und es gibt also hier keine Doppelbrechung.

Die Geschwindigkeits-Differenz zweier in gleicher Richtung einen Krystall durchziehenden senkrecht auf einander polarisirter Strahlen verschwindet, wenn ihre Richtung die der Axe ist; stehen aber Richtung der Axe und des Strahles senkrecht auf einander, so erreicht der Unterschied den größten im Krystalle möglichen Werth. Construirt man eine Ellipse, deren Axen sich zu einander verhalten wie die beiden extremen Geschwindigkeiten und denkt man sich diese Ellipse so in den Krystall gelegt, daß bei dem positiven Krystalle die große, bei dem negativen die kleine Ellipsenaxe mit der Krystallaxe zusammenfällt, so geben die Größen der Radienvectoren die Geschwindigkeit der ihnen entlang laufenden außerordentlichen Strahlen. Die Geschwindigkeit der ordentlichen Strahlen ist stets gleich. Fällt (bei dem negativen Krystalle) die kleine Axe de der Fig. 225 mit der Axe de der Fig. 224 zusammen und geht ein Strahl in der Richtung bc, so ist die Geschwindigkeit des parallel mit da (also in der Ebene des Papieres) schwingenden außerordentlichen Strahles gleich ba, die des senkrecht auf der Axe (und auf der Ebene des Papieres) schwingenden ordentlichen Strahles ist gleich da, gleich dem Radius des eingezeichneten Kreises. Gehen die Strahlen in der Richtung gf, so hat der in der Ebene des Papieres schwingende die Geschwindigkeit ga (außerordentlicher Strahl), der andere, der senkrecht auf der Ebene des Papieres und also auch senkrecht auf der Richtung von da schwingt, hat wieder die Geschwindigkeit da (ordentlicher Strahl). Ist de die Richtung der beiden Strahlen, so schwingt der eine in der Ebene des Papieres, der andere senkrecht darauf, aber

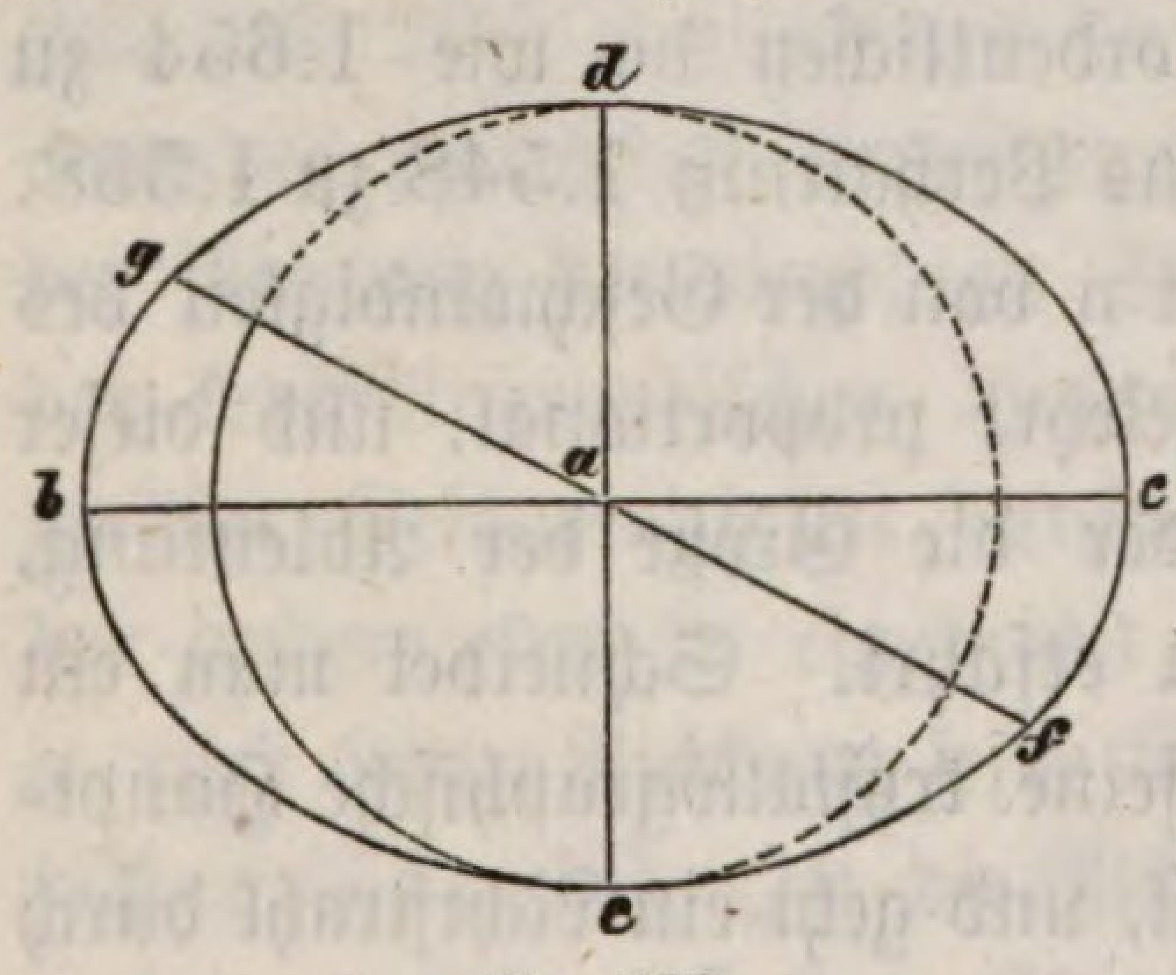


Fig. 225.

beide auch senkrecht auf da und folglich haben beide auch die Geschwindigkeit da.

Denkt man sich a (Fig. 225) als einen leuchtenden Punct, von dem aus die Lichtstrahlen sich nach allen Richtungen verbreiten, so gehen die außerordentlichen Strahlen so fort, daß sie in gleicher Zeit an der Ellipse bgde ankommen; in derselben Zeit bilden die Endpuncte der ordentlichen Strahlen den eingeschriebenen Kreis. Da die Fortpflanzung des Lichtes nach allen Richtungen vor sich geht, so erhält man die Endpuncte aller außerordentlichen Strahlen, wenn man die Ellipse um ihre kleine Axe de dreht, während die Endpuncte der ordentlichen Strahlen von der eingeschlossenen Kugel berührt werden. Die Wellenoberfläche der außerordentlichen Strahlen ist also ein Umdrehungsellipsoid, die der ordentlichen ist eine Kugel. Ist die Kugel von dem Ellipsoid eingeschlossen (Fig. 225), so erhält man den negativen Krystall, den positiven dagegen, wenn das Ellipsoid von der Kugel eingeschlossen ist (Fig. 226). Je größer die Differenz der ungleichen Axen ist, um so bedeutender ist auch die Doppelbrechung, verschwindet die Differenz, so erhält man den einfachbrechenden Körper. Dieser bildet also den Uebergang von dem positiven Krystalle zum negativen.

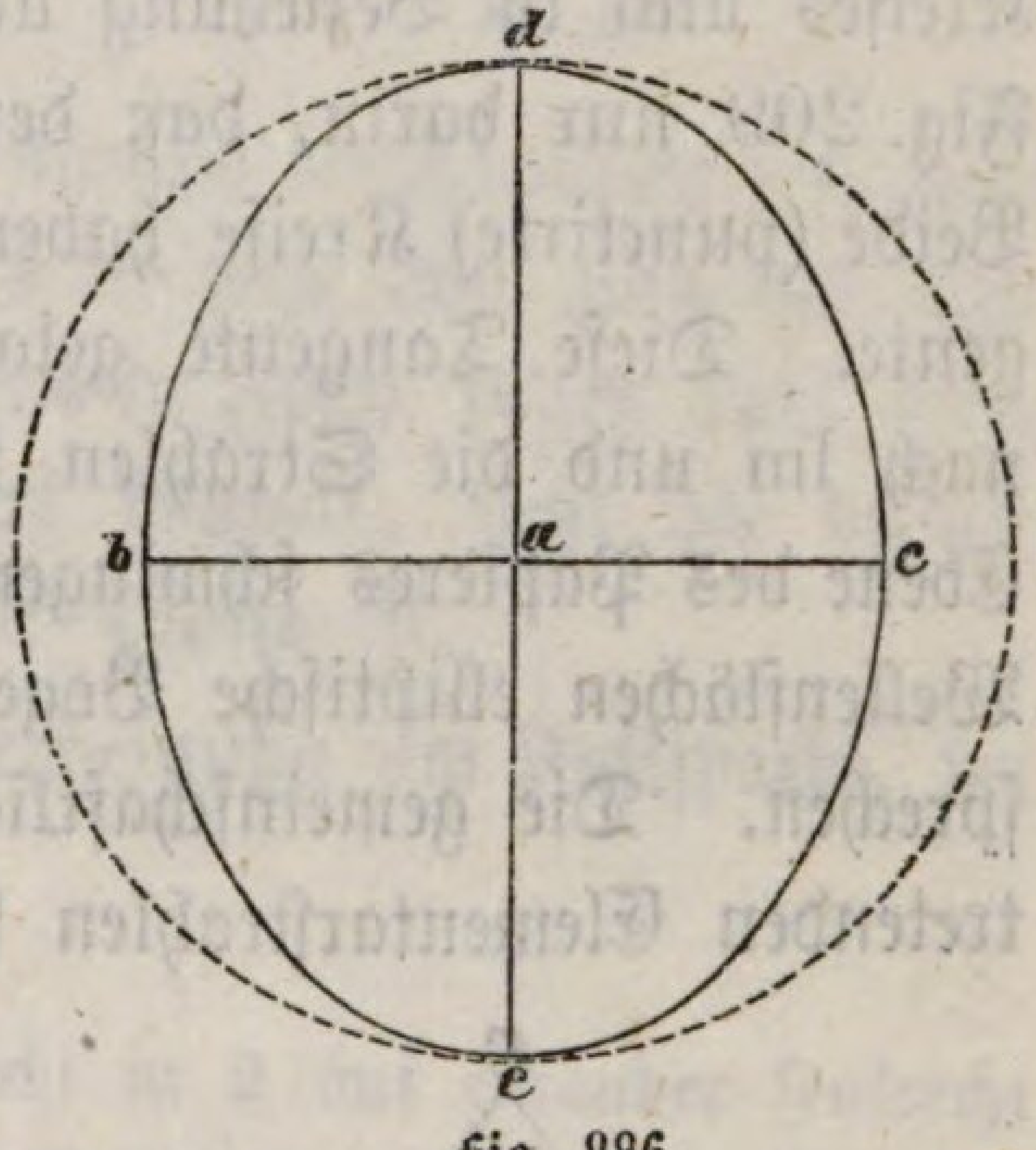


Fig. 226.

Man nennt diejenige Richtung, in welcher keine Doppelbrechung stattfindet, die optische Axe, und diese fällt daher in den vorstehend besprochenen Körpern den sogenannten optisch einaxigen, mit der krystallographischen Axe zusammen.

Die Zahl der bei den einaxigen Krystallen vorkommenden Erscheinungen ist außerordentlich groß, und wir wollen nur den einzigen Fall untersuchen, in dem ein Lichtstrahl senkrecht auf eine parallelwandige Platte eines negativen einaxigen Krystalles fällt. Je nachdem die Platte aus dem Krystalle geschnitten ist, kann die Axe desselben mit dem einfallenden Strahle a) parallel sein, b) senkrecht darauf stehen, c) irgend einen spitzigen Winkel damit machen.

Sind optische Axe und Lichtstrahl mit einander parallel, so mag Fig. 227 ABCD ein durch die Axe gehender sogenannter Hauptschnitt eines negativen Krystalles sein, AB die Richtung der Axe, abcd

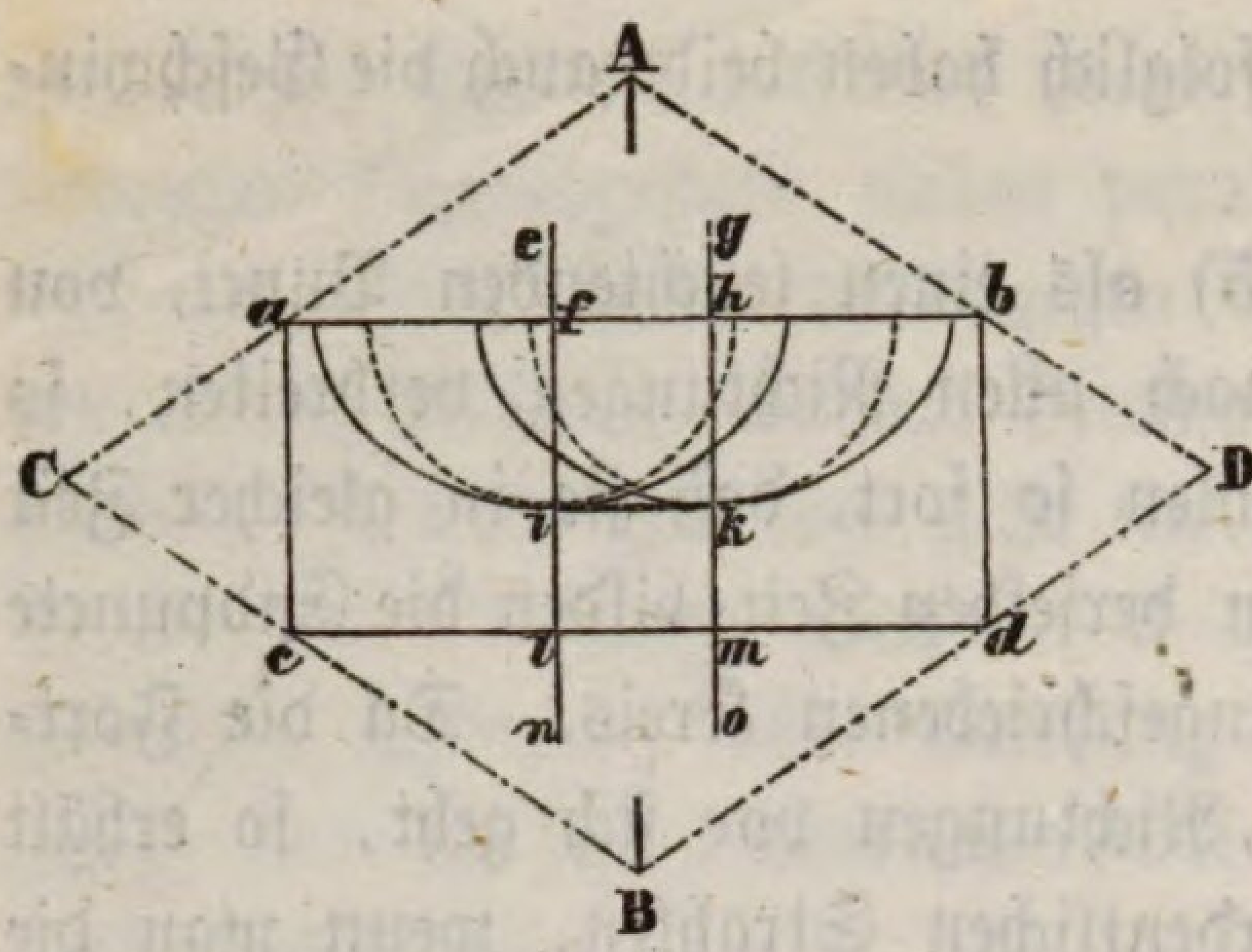


Fig. 227.

der Durchschnitt der Platte. Die Geraden ef und gh sind 2 Elementarstrahlen, die senkrecht auf die Platte fallen und sich bei dem Eintritte in diese in je 2 auf einander senkrecht polarisirte Strahlen zerlegen. Das eine Paar dieser letzteren schwingt senkrecht auf der Ebene des Papieres, also auch senkrecht auf der Richtung der Axe, während die Schwingungen des andern Paares in der Ebene des Papieres liegen. Betrachtet man die Puncte f und h nach §. 180 als leuchtende Puncte, so gehen von ihnen Wellen aus, und was zunächst das erste Paar von Strahlen anbelangt, so ist die Geschwindigkeit ihrer Wellenbewegung nach allen Richtungen die nämliche, der Durchschnitt der Wellenfläche mit der Ebene ABCD hat daher die Form eines Kreises und in Beziehung auf sie unterscheidet sich die Fig. 227 von Fig. 209 nur darin, daß der Einfallwinkel des Lichtes ein anderer ist. Beide (punctirte) Kreise haben die Gerade ik als gemeinschaftliche Tangente. Diese Tangente gelangt bei dem Weitergehen der Bewegung nach lm und die Strahlen treten als ln und mo aus. Die in der Ebene des Papieres schwingenden Strahlen haben als Begränzung ihrer Wellenflächen elliptische Bogen, die dem Theile bec in Fig. 225 entsprechen. Die gemeinschaftliche Tangente ist wieder ik und die austretenden Elementarstrahlen sind wieder ln und mo. Hieraus ergibt sich, daß ordentlicher und außerordentlicher Strahl den gleichen Weg mit gleicher Geschwindigkeit zurücklegen und ein durch die Platte gesehener Punct erscheint daher einfach. In dem zweiten durch Fig. 228 dargestellten Falle gilt für die senkrecht auf der Ebene des Papieres schwingenden Strahlen wieder dasselbe, was im ersten stattfand, bei den in der Papierebene schwingenden dagegen tritt wegen der veränderten Stellung der optischen Axe statt des elliptischen Bogens bec der Fig. 225 der Bogen ecd ein. Gemeinschaftliche

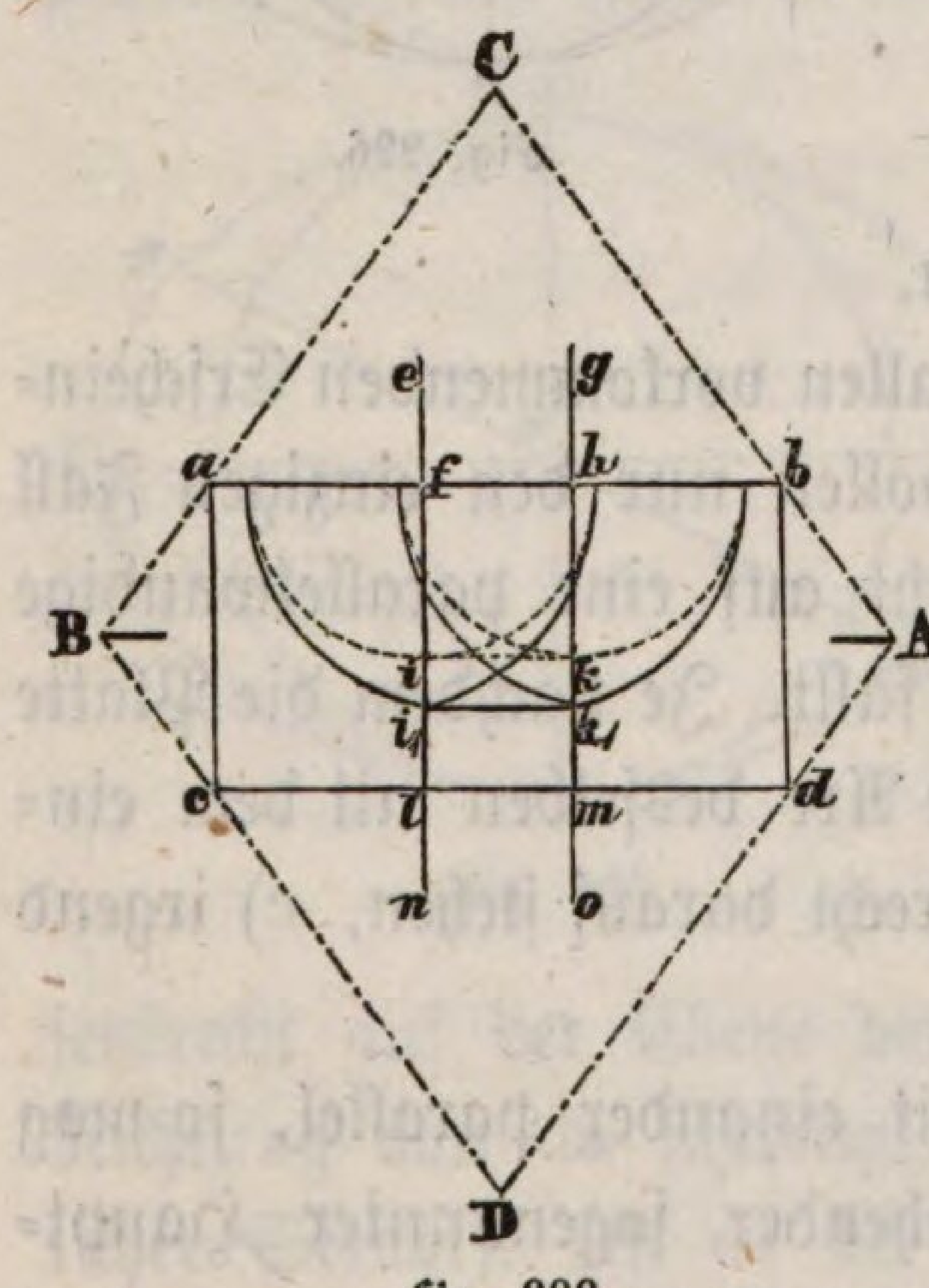


Fig. 228.

Tangente der beiden Ellipsen ist i_1k_1, das im Laufe der Bewegung nach lm kommt, woraus sich dann die austretenden Strahlen ln und mo ergeben. Es machen hier beide Strahlen wieder den nämlichen Weg, wenn auch mit ungleicher Geschwindigkeit und das Resultat ist wieder, daß man durch die Platte hindurch einen gegebenen Punct einfach sieht, es ist nur der eine Strahl gegen den andern etwas vorgeschoben. In dem durch Fig. 229 dargestellten dritten Falle bleibt das Verhalten der senkrecht auf der Ebene des Papieres schwingenden Strahlen noch immer dasselbe, denn sie schwingen auch hier wieder senkrecht auf der Richtung der optischen Axe AB, die in der Ebene des Papieres schwingenden Strahlen dagegen geben elliptische Bogen, die dem Bogen gef der Fig. 225 entsprechen. Die gemeinschaftliche Tangente dieser Bogen ist i_1k_1, dann bei der Fortdauer der Bewegung l_1m_1 und es ergeben sich daraus die Strahlen l_1n_1 und m_1o_1. Diese treten seitwärts von ln und mo aus und man hat also nach dem Austritte zweierlei Strahlen, und in Folge dessen sieht man einen durch die Platte betrachteten Punct doppelt, sieht die beiden Bilder um so mehr getrennt, je dicker die Platte ist.

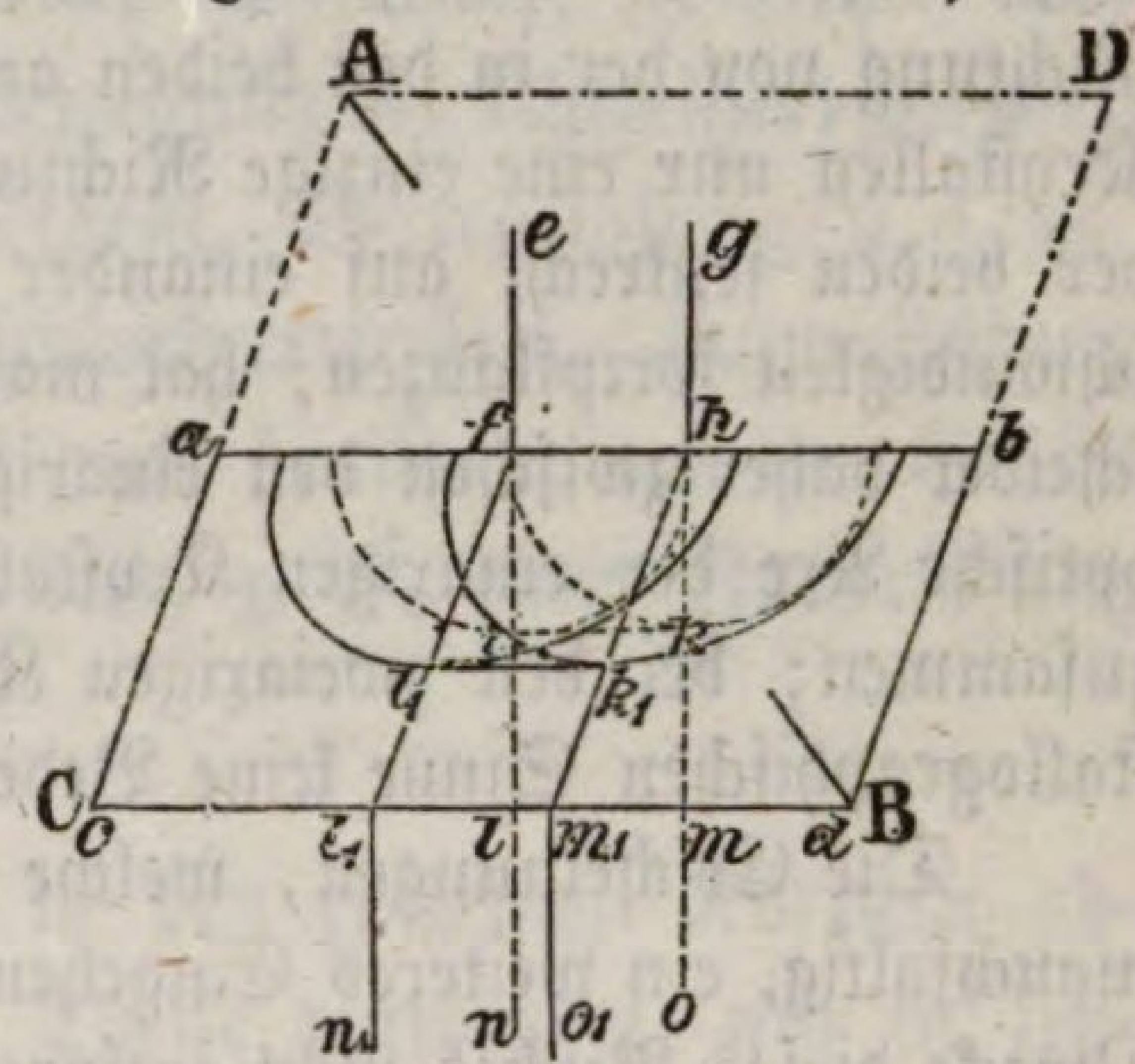


Fig. 229.

Weitaus am besten zeigt sich die Erscheinung am Kalkspathe, bei dem sie auch zuerst gefunden wurde.

Die Eigenschaft der Krystalle, das Licht in 2 auf einander senkrecht polarisirte Strahlen zu theilen, macht dieselben geeignet, als Polarisations-Apparate zu dienen. Man läßt das unpolarisirte Licht auf den Krystall fallen, dort werden die Strahlen getrennt, der eine derselben wird durch eine Blende u. dgl. unschädlich gemacht, der andere zu weiteren Untersuchungen benützt.

Manche Krystalle beobachten gegen das in verschiedenen Schwingungsrichtungen sie durchziehende Licht ein verschiedenes Verhalten. Am auffallendsten zeigt sich dieses, der sogenannte Dichroismus, an dem Pennin, denn von den ordentlichen Strahlen gehen nur die blaugrünen, von den außerordentlichen nur die braungelben durch. Der Turmalin ist für die ordentlichen Strahlen weniger durchdringbar als für die außerordentlichen und eine Platte von angemessener (je nach der Varietät des Minerals verschiedener) Dicke läßt daher nur diejenigen Strahlen durch, welche parallel mit der Richtung der Axe schwingen, während sie die andern absorbirt; sie ist also für sich ein Polarisationsapparat.

Ob ein Krystall doppelte oder einfache Brechung des Lichtes habe, erkennt man an seiner Gestalt. Die Krystalle des tesseralen Systemes sind wie die amorphen Körper einfach brechend, die Krystalle des quadratischen und des hexagonalen Systemes besitzen die Doppelbrechung in der vorstehend angegebenen Weise. Die Krystalle der übrigen Systeme zeichnen sich von denen der ersten drei dadurch aus, daß die Vertheilung der Molecüle nach 3 verschiedenen Richtungen verschieden ist, während bei den Krystallen des quadratischen und des hexagonalen Systemes nur die Vertheilung in der einen Richtung von der in den beiden andern abweicht. Während bei diesen letzteren Krystallen nur eine einzige Richtung vorhanden ist, in welcher sich die Wellen der beiden senkrecht auf einander polarisirten Lichtstrahlen mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen, hat man bei den ersteren deren 2 und man unterscheidet daher zwischen den einaxigen und den zweiaxigen Krystallen. Die optische Axe der einaxigen Krystalle fällt mit der mineralogischen Hauptaxe zusammen; bei den zweiaxigen Krystallen haben die optischen Axen im krystallographischen Sinne keine Bedeutung.

Die Erscheinungen, welche die zweiaxigen Krystalle bieten, sind sehr manchfaltig, ein weiteres Eingehen in das Detail derselben würde jedoch dem Zwecke dieses Buches nicht entsprechen.

§. 188. Läßt man einen polarisirten Strahl homogenen Lichtes auf eine Quarzplatte fallen, deren Flächen senkrecht auf der optischen Axe stehen, und geht der Strahl der Axe parallel, so gewahrt man eine Erscheinung, die unter den Krystallen fast nur dem Quarze zukommt, nämlich eine Drehung der Polarisationsebene. Weiß man nämlich die Ebene, in welcher die Schwingungen des einfallenden Lichtes vor sich gehen und sucht man sie vermittelst eines Kalkspathes, in dem der außerordentliche Strahl abgeblendet wurde, durch den also nur Licht von bestimmter Schwingungsrichtung durchgehen kann, wieder bei dem Austritte des Strahles, so erkennt man an dem Mehr oder Minder der Helligkeit, daß und wie viel die Schwingungsebene des Lichtes im Quarze gedreht wurde. Die Richtung, in welcher die Aetherteilchen schwingen, ist zwar immer auf der Axe senkrecht, aber sie dreht sich wie eine Schraube um dieselbe. Die Drehung wächst mit der Dicke der Platte, und sie geht bald links bald rechts, was sehr häufig schon durch die äußere Gestalt des Krystalles, aus dem die Platte geschnitten wurde, erkannt werden kann. Der Quarz krystallisirt nämlich in der Gestalt eines sechsseitigen Prismas in Combination mit einer sechsseitigen Pyramide und die Ecken, welche bei dem Zusammenstoße der beiden Grundformen zum Vorschein kommen, sind sehr oft durch kleine Flächen einseitig abgestumpft, deren Neigung den Sinn der Drehung der Polarisationsebene bezeichnet. Die Drehung ist nicht für alle Farben

gleich, sie ist bei den stärker brechbaren größer und man kann daher auch auf diese Weise eine Farbenzerlegung bekommen. Man erhält bei Anwendung von weißem Lichte immer eine Farbenerscheinung und niemals dunkel, gerade so wie dieses bei den Beugungserscheinungen und den Newton'schen Ringen der Fall ist. Man nennt die Erscheinung der Drehung der Polarisationsebene die Circularpolarisation.

Auch Flüssigkeiten zeigen die Circularpolarisation; sie drehen bald links bald rechts. Rechts (im Sinne der Bewegung der Uhrzeiger) drehend sind: Citronenöl, Zuckersyrup, Kamphergeist, Dextrinlösung u. s. w., links drehend sind: Terpentinöl, Kirschlorbeerwasser, Gummilösung u. s. w. und man kann diese Eigenschaft auch benützen, um den Gehalt einer Lösung an dieser oder jener Substanz z. B. einer Zuckerlösnng an Zucker zu ermitteln.

§. 189. Die Lichtstrahlen, welche in den einzelnen Körpern absorbirt werden, werden wenigstens zum Theile verwendet, um in letzteren bleibende Veränderungen hervorzubringen, welche darin bestehen, daß 2 verschiedene Stoffe sich mit einander verbinden, häufiger aber, daß eine Verbindung in ihre Bestandtheile zerfällt. Es verbinden sich Chlor und Wasserstoff, die im Dunkeln nicht auf einander wirken, langsam im Tageslicht, unter Explosion aber, wenn sie den Sonnenstrahlen ausgesetzt werden. Das weiße Chlorsilber wird im Lichte geschwärzt, weil es sich zersetzt, indem das Chlor entweicht, fein zertheiltes Silber zurückbleibt. Die grünen Theile der Pflanzen nehmen im Lichte Kohlensäure auf, zersetzen sie in ihre Bestandtheile, geben den Sauerstoff ab und behalten den Kohlenstoff für sich.

Setzt man Papier, das mit einer dünnen Schichte von Chlorsilber überzogen ist, den Strahlen des Spectrums aus, so beobachtet man da, wo die rothen und gelben Strahlen hinfallen, keine Aenderung; die letztere ist aber sehr bedeutend in Blau und geht (Fig. 186) noch eine ziemliche Strecke über das sichtbare Violett hinaus, so daß also den fluorescirenden Strahlen eine bedeutende chemische Wirksamkeit zugeschrieben werden muß.

Bringt man an die Hinterwand der Camera obscura (§. 170), also an die Stelle der matten Glastafel eine Platte, die mit einer durch das Licht leicht veränderlichen Substanz überzogen ist, so wird das Bild auf dieser entstehen, da es aber als eine Combination von helleren und dunkleren Stellen betrachtet werden kann, wird die chemisch veränderliche Schichte sich an den hellen Stellen mehr, an den dunkeln weniger ändern, und wenn es gelingt,

diese Verschiedenheit der Wirkungen dauernd sichtbar zu machen, so entsteht ein Bild. Darauf beruhen die Daguerrotypie und die Photographie.

Bei der Daguerrotypie wird eine wohl gereinigte mit einer dünnen Silberschichte überzogene Kupferplatte im Dunkeln den Dämpfen von Jod oder Chlorjod ausgesetzt, bis sie sich mit einem goldgelben Ueberzuge von Jodsilber bedeckt hat, worauf man sie in die Camera obscura bringt und das Licht auf sie einwirken läßt. Nach einer je nach der Beleuchtung kürzeren oder längeren Zeit, die jedoch nie so lange dauern darf, daß man die Einwirkung des Lichtes auf der Platte unmittelbar gewahrt, wird letztere aus der Camera entfernt und unter Abschluß des Lichtes den Dämpfen von Quecksilber ausgesetzt. Wenn auch das Auge auf der dem Lichte exponirten Silberplatte unmittelbar nach der Beleuchtung keine Veränderung gewahrt, so ist doch schon eine der Art vorgegangen, daß die Quecksilberdämpfe auf den beleuchteten Puncten haften, was bei den nicht beleuchteten also mit unverändertem Jodsilber bedeckten nicht der Fall ist. Die mit Quecksilberstaub bedeckten Stellen werfen das darauffallende Licht in anderer Weise zurück als die übrigen und man kann daher jetzt das Bild sehen. Würde man dasselbe dem Einflusse des Lichtes überlassen, so würde auch das noch unveränderte Jodsilber sich zersetzen und dadurch das Bild zerstört werden, weßhalb man dasselbe fixiren muß. Es geschieht dieses durch Abwaschen mit unterschwefligsaurem Natron, welches die Jodsilberschichte wegnimmt, also fernere Aenderung unmöglich macht und das Quecksilber stehen läßt. Die Platte ist nun zum Theile mit Quecksilberdämpfen bedeckt, zum Theile liegt die Silberfläche frei da; die ersteren Stellen erscheinen hell, die letzteren, wenn man sich so stellt, daß sie das von mäßig hellen Gegenständen herkommende Licht in's Auge reflectiren, dunkel.

Bei der Photographie wird eine Glastafel mit Collodium (Auflösung von Schießbaumwolle in Aether), dem eine Auflösung von Jodkalium in Weingeist beigefügt ist, übergossen. Das Collodium läuft zum größten Theile ab, der Rest vertrocknet zu einer sehr dünnen Haut. Die Platte wird nun in eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd in Wasser (Silberbad) getaucht, wobei eine Verbindung des Silbers mit dem Jod im Collodium erzielt wird, und dann in der Camera dem Lichte exponirt. Noch ehe man direct eine Veränderung an der Jodsilberschichte sehen kann, wird die Insolation unterbrochen und das Bild mit Pyrogallussäurelösung übergossen, welche an den dem Lichte ausgesetzt gewesenen Stellen eine Reduction des Silbers also eine Schwärzung hervorruft, die vom Lichte nicht getroffenen unberührt läßt. Würde man die Platte nun dem Lichte ausgesetzt lassen, so würden auch die bisher noch nicht reducirten Stellen verändert, das ganze Bild würde schwarz und es muß daher ebenfalls fixirt werden, was durch Abwaschen mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron geschieht, welche das noch unzersetzte Jodsilber entfernt. Das neue fertige Bild ist ein sogenanntes negatives, denn alle im Originale hellen Stellen sind hier dunkel und umgekehrt, weßhalb durch Umkehrung von Licht und Schatten das positive Bild hergestellt werden muß. Zu diesem Zwecke wird Papier, das zuerst in eine

Lösung von Kochsalz und dann in eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd getaucht wurde und auf dem sich dadurch eine dünne Schichte von Chlorsilber gebildet hatte, auf ein schwarz angestrichenes Brettchen gelegt und mit der das negative Bild enthaltenden Glasplatte bedeckt dem Lichte ausgesetzt. Die Strahlen dringen nun durch die hellen Stellen des negativen Bildes leichter hindurch als durch die dunkeln, und da wo dieses hell ist wird das Papier dunkel, während es an den dunkeln Stellen weiß bleibt. Es vertheilen sich daher Licht und Schatten in derselben Weise wie in dem Originale und das nun positive Bild wird durch Auswaschen mit unterschwefligsaurem Natron fixirt. Das negative Bild kann wie eine Matrize zur Herstellung von beliebig vielen positiven dienen.

Da die rothen und gelben Strahlen chemisch weniger wirken als die blauen und violetten und weil überhaupt das chemische Spectrum ein anderes ist als das optische (Fig. 186), so folgt, daß die hellen und dunkeln Stellen auf dem auf chemischem Wege hervorgebrachten Bilde nicht gänzlich dem Eindrucke entsprechen, den das Original auf das Auge macht. Es erscheinen rothe Gegenstände zu dunkel, blaue zu hell.

Die Wärme.

§. 190. Unserm Gefühle erscheinen die Körper in verschiedenen Zuständen, die wir mit heiß, warm und kalt u. s. w. bezeichnen, deren nähere Beschreibung uns aber ebenso unmöglich ist als eine Beschreibung des Eindruckes, den das Licht auf uns macht, und wir suchen die Ursache dieser Verschiedenheit der Körper in einem Etwas, das wir Wärme nennen und dessen Natur später besprochen werden soll.

Die Wärme kann von einem Körper auf den andern übergetragen werden und indem man mehr davon in dem nämlichen Körper concentrirt, wird derselbe erwärmt oder erhitzt, wenn man ihm Wärme entzieht wird er erkältet, abgekühlt. Die Wirkung, welche der Wärme enthaltende Körper auf das Gefühl ausübt, heißt seine Temperatur.

§. 191. Es ist eine Eigenschaft der Wärme, diejenigen Körper, in denen sie sich sammelt, auszudehnen d. h. sie zu veranlassen, daß sich ihre Molecüle von einander entfernen. Je mehr die Wärme in dem Körper vermehrt wird, um so größer ist die gegenseitige Entfernung der Molecüle, bei der die Anziehung von der Abstoßung aufgehoben wird (§. 88), wo also ein Gleichgewichtszustand der Molecüle eintritt

und dieser Zustand wird nun dazu benützt, um die Temperatur der Körper zu messen. Die zu diesem Gebrauche bestimmten Instrumente heißen **Thermometer.**

Die gewöhnlichste Form eines Thermometers ist die einer engen Glasröhre, die an dem einen Ende zugeschmolzen, an dem andern zu einer Kugel oder einem Cylinder aufgeblasen ist. Die Kugel ist ganz, die Röhre zum Theile mit einer Flüssigkeit, meistens Quecksilber, gefüllt, das den Vortheil bietet, daß es sein Volumen bei den im gewöhnlichen Leben vorkommenden Temperaturen für gleiche Wärmezunahme stets um ein nahezu gleiches Quantum vergrößert. Gibt z. B. Fig. 230 ein solches Instrument an, das Quecksiber enthält, und füllt letzteres die Kugel und einen Theil der Röhre aus, so wird, wenn es bis t reicht, dadurch irgend eine Temperatur angegeben. Wird die Wärme des Quecksilbers vermehrt, so vergrößert sich sein Volumen und da der Raum in der Kugel nicht in gleichem Maaße wächst, obwohl die Ausdehnung sich auch auf das Glas erstreckt, so hat nicht mehr alles Quecksilber in derselben Platz, es wird daher ein Theil in die Röhre getrieben und bewirkt dort ein Steigen. Umgekehrt folgt bei Abkühlung ein Fallen. Wäre die Kugel nicht vorhanden, so würde die an und für sich geringe Ausdehnung des Quecksilbers nicht oder kaum zu bemerken sein. Die Hauptveränderung kommt immer daher, daß bei dem Steigen Flüssigkeit in die Röhre gelangt, die vorher in der Kugel war und umgekehrt. Je größer die Kugel, je enger die Röhre, um so empfindlicher wird das Thermometer.



Fig. 230.

Soll ein Thermometer mehr leisten als bloß anzeigen, daß es wärmer oder kälter geworden sei, soll es auch angeben, um **wie viel** die Temperatur zu- oder abgenommen habe oder sollen die Temperaturen verschiedener Momente unter einander vergleichbar sein, so müssen an der Röhre durch Eintheilung Marken als Anhaltspuncte angebracht werden, und wenn die Angaben verschiedener Instrumente unter einander vergleichbar sein sollen, so ist weiter nothwendig, daß diese Marken nach einem bestimmten Systeme bemessen werden, auf das man jederzeit wieder zurückkommen kann, auch wenn einmal sämmtliche Thermometer zu Grunde gehen würden. Man muß Thermometer construiren können, die, ohne daß man vor der Eintheilung

ihren Gang mit dem anderer verglichen hätte, dennoch nach der Eintheilung mit denselben übereinstimmen. Hiezu braucht man ein paar Erscheinungen, von denen man weiß, daß sie immer bei der nämlichen Temperatur eintreten und als solche Fundamentalpuncte haben wir das Schmelzen des Eises und dann das Sieden des unter einem Luftdrucke von 760mm befindlichen Wassers. Eiswasser, in dem noch ungeschmolzenes Eis herumschwimmt, hat stets die gleiche Temperatur und dasselbe ist der Fall bei dem siedenden Wasser oder strenge genommen bei dem Dampfe über demselben. Man steckt daher das zu graduirende Thermometer nach einander in schmelzendes Eis und in den Dampf siedenden Wassers und merkt sich durch einen Strich den jeweiligen Stand des Quecksilbers an, worauf der Raum zwischen beiden Strichen in 80 oder in 100 gleiche Theile (Grade) getheilt und der Eispunct mit 0°, der Siedepunct mit 80° oder 100° bezeichnet wird. Bei der ersteren Theilung erhält man das Réaumur'sche, bei der letzteren das Celsius'sche Thermometer. Die Differenz zwischen den beiden Ausgangstemperaturen ist immer die gleiche, in Folge dessen sind auch die 80ten und 100ten Theile davon immer die nämlichen und es ist daher zwischen beiden Scalen kein anderer Unterschied als der, daß man dieselbe Größe das einemal in weniger und größere, das anderemal in mehr und kleinere Theile zerlegt. Dieselbe Eintheilung, die man zwischen dem Null- und dem Siedepunct macht, wird soweit es die Röhre gestattet auch unterhalb des Nullpunctes fortgesetzt; dann gibt man die Entfernung eines Punctes von dem Nullpuncte in Graden an und setzt den Graden das Zeichen — vor. Man nennt diese Grade auch Kältegrade und betrachtet sehr häufig die Kälte als etwas, was der Wärme entgegengesetzt ist, doch ist dieses insofern unrichtig, als es eine Kälte in solchem Sinne genommen gar nicht gibt, denn das was man Kälte nennt ist nichts als ein niedrigerer Grad von Wärme.

Ist eine Temperatur in der einen Scala angegeben, so unterliegt es keiner Schwierigkeit, sie auf die andere zurückzuführen. Es sind nämlich

$$100^\circ\,C = 80^\circ\,R,\quad 1^\circ\,C = \tfrac{8}{10}{}^\circ\,R,\quad \tfrac{10}{8}{}^\circ\,C = 1^\circ\,R.$$

Will man daher von Celsius auf Réaumur übergehen, so multiplicirt man mit 8 und schneidet die letzte Ziffer ab, und im umgekehrten Falle hängt man zuerst eine Null an und dividirt mit 8.

Außer diesen beiden Eintheilungen hat man noch die Fahrenheit'sche Scala, nach welcher der Nullpunct der beiden andern Scalen

die Zahl 32 hat, worauf die Temperaturdifferenz zwischen Nullpunct und Siedepunct noch in 180 Grade getheilt wird. Es ist daher

$$212^0\,F = 100^0\,C = 80^0\,R$$
$$32^0\,F = 0^0\,C = 0^0\,R$$
$$0^0\,F = -17\tfrac{7}{9}{}^0\,C = -14\tfrac{2}{9}{}^0\,R.$$

Will man von Fahrenheit'schen Graden auf Réaumur'sche oder Celsius'sche übergehen, so bedient man sich der Formel

$$x^0\,F = (x-32)\tfrac{5}{9}{}^0\,C = (x-32)\tfrac{4}{9}{}^0\,R.$$

Im umgekehrten Falle hat man:

$$y^0\,C = (y\,.\,\tfrac{9}{5} + 32)^0\,F$$
$$y^0\,R = (y\,.\,\tfrac{9}{4} + 32)^0\,F.$$

Man bedient sich der Celsiuseintheilung in Frankreich sowie auch bei uns in wissenschaftlichen Werken mit Ausnahme jedoch der meisten Schriften meteorologischen Inhalts, bei welchen wie im gewöhnlichen Leben bei uns Réaumurgrade genommen werden. Die Fahrenheitgrade sind in England und Nordamerika üblich.

Mit Quecksilber-Thermometern kann man Temperaturen bis zu 220—240° R messen; ist die Wärme höher, so kommt man dem Siedepuncte des Quecksilbers (280°) zu nahe und die Angaben des Thermometers werden wegen der veränderlichen Ausdehnung des Quecksilbers unzuverlässig. Nach abwärts lassen sich die Temperaturen bis etwa — 24° R finden, bei noch geringerer Wärme stört die Nähe des Gefrierpunctes des Quecksilbers (— 31° R). Für sehr niedrige Wärmegrade muß aus diesem Grunde das Quecksilber durch Weingeist ersetzt werden, der den Vortheil bietet, daß er nicht gefriert, aber für höhere Temperaturen nicht gebraucht werden kann, weil er schon bei 64° R siedet. Auch Luft, die durch einen Tropfen Schwefelsäure oder Aether abgesperrt ist, kann an der Stelle des Quecksilbers verwendet werden. Die Luftthermometer haben der bedeutenden Ausdehnung wegen, welche die Luft durch die Wärme erleidet, eine hohe Empfindlichkeit. Bei einfachen Thermometern ist das obere Ende der Röhre offen und es muß daher bei Temperaturbestimmungen der jeweilige Luftdruck berücksichtigt werden. Meistens hat man 2 am Ende der Röhre des einfachen communicirende Luftthermometer. Diese sind dann ganz geschlossen, geben mit großer Empfindlichkeit die Temperaturunterschiede der beiden Kugeln an und führen darum den Namen Differential-Thermometer.

Ein nothwendiges Requisit eines guten Thermometers ist, daß das Caliber der Röhre allenthalben möglichst gleich sei, denn ist es an der einen

oder andern Stelle weiter, so steigt das Thermometer bei gleicher Temperaturzunahme dort weniger als an den engen Theilen der Röhre. Mathematisch genau cylindrisch ist wohl keine Röhre und es ist daher nothwendig, die Fehler seines Instrumentes zu kennen, damit man bei Temperaturbestimmungen darauf Rücksicht nehmen kann. Es geschieht dieses nach dem Vorschlage Bessels am leichtesten dadurch, daß man durch Schütteln das in der Röhre befindliche Quecksilber oder einen Theil desselben von dem Kugelinhalte trennt. Gewöhnlich geht die Trennung da vor sich, wo die Kugel an die Röhre stößt und durch vorhergehende Abkühlung des Thermometers kann man daher beliebig viel Quecksilber absondern. Dieses Quecksilber bildet nun einen sich der innern Form der Röhre genau anpassenden Cylinder, und da seine Masse immer dieselbe bleibt, wird er an den weiteren Stellen der Röhre kürzer, an den engeren aber länger. Durch Neigen des Thermometers kann man nun diesen Cylinder in der ganzen Röhre hin und herbringen, während man seine Länge an der Graduirung des Thermometers abliest. Er soll jedesmal, wo er auch sei, gleich viele Scalentheile umfassen.

Derjenige Theil der Röhre, welcher nicht von dem Quecksilber eingenommen ist, enthält entweder Luft, oder er ist davon frei. Letzteres erkennt man daran, daß ein abgetrennter Quecksilbercylinder bei dem Neigen des Thermometers bis an das oberste Ende der Röhre dringt und dort, wenn das Röhrenende stumpf ist, einen dem Ticken einer Taschenuhr ähnlichen Ton gibt. Enthält das Thermometer Luft, so ist dieses für die Temperaturbestimmung ohne Einfluß, aber es ist der Nachtheil damit verbunden, daß wenn sich das Quecksilber in der Röhre trennt, leicht Luft zwischen die einzelnen Quecksilbertheile dringt und die Wiedervereinigung derselben verhindert, daher muß man hier die oben erwähnte Prüfung des Röhrencalibers mit großer Vorsicht ausführen. Man kann solche Thermometer mit abgebrochener Quecksilbersäule wieder herstellen, wenn man das Instrument an einem Bindfaden befestigt und ein paarmal rasch so im Kreise schwingt, daß die Kugel den größeren Kreis beschreibt als die Röhre. Weil bei lufthaltigen Thermometern bei hohen Temperaturen die Luft von dem stark ausgedehnten Quecksilber in den obern Theil der Röhre gedrängt wird, muß ein solches Instrument dort eine Erweiterung haben, damit die Luft nicht zu stark comprimirt wird und das Glas zersprengt.

Bei manchen Thermometern namentlich bei den luftfreien kommt es vor, daß sich die Kugel nachträglich, zumal im Laufe des ersten Jahres etwas zusammenzieht, wodurch der wahre Nullpunct etwas höher zu stehen kommt, als der von der Scala angegebene und man thut daher gut, sich von Zeit zu Zeit von der Richtigkeit der letzteren zu überzeugen, indem man das Thermometer in Eiswasser steckt.

§. 192. Die Thermometer, welche die Bestimmung haben, sehr hohe Wärmegrade anzugeben, die sogenannten Pyrometer, lassen im Allgemeinen ziemlich viel zu wünschen übrig. Am besten erfüllt wohl das Luftpyrometer seinen Zweck. Es besteht dieses aus einem hohlen

Cylinder aus Platin, der mit einer sehr feinen Röhre versehen ist, aus welcher die durch die Erhitzung ausgedehnte Luft entweicht. Bringt man den heißen Cylinder in Wasser, so kühlt er sich ab, die Luft zieht sich um so mehr zusammen, je mehr sie vorher ausgedehnt war, und in den so entstehenden leeren Raum dringt das Wasser nach, dessen Menge nach vollständigem Erkalten durch die Gewichtszunahme des Cylinders gefunden wird.

Daniell hat ein Pyrometer auf Grund des Satzes construirt, daß Reißblei (eine Mischung von Graphit und Thon) sich in der Hitze weniger ausdehnt als Platin. Bringt man auf den Boden eines zum Theile ausgehöhlten Reißbleicylinders eine Stange Platin, die parallel mit der Cylinderaxe steht, aber dessen Ende nicht erreicht, und steckt man in den Reißbleicylinder einen Porcellancylinder, der sich mit einiger Reibung hin und herbewegen läßt und auf dem Platin aufstößt, so dehnt sich bei dem Erhitzen das Platin stärker aus als das Reißblei, und der Porcellancylinder wird dadurch etwas in die Höhe geschoben. Bei der Abkühlung bleibt er dann da stehen, wohin er geschoben ist, denn die Reibung am Reißblei verhindert sein Zurückgehen.

Wenn man Thon bis zum Rothglühen erhitzt, so gibt er sein Wasser ab, bei noch größerer Hitze sintert er mehr und mehr zusammen. Hierauf gründete Wedgwood sein Pyrometer. Er fertigte cylindrische Körper von bestimmter Größe aus Thon und schob sie nach dem Erhitzen zwischen 2 gegen einander geneigten Linealen hin. Je größer die Hitze war, um so mehr war der Thon zusammengesintert, um so weiter ließ sich der Cylinder zwischen den Linealen vorschieben.

Außer den vorstehenden Thermo- und Pyrometern gibt es noch mehrere andere Instrumente, die meistens auf noch nicht besprochenen Eigenschaften der Wärme beruhen und darum später angeführt werden sollen.

§. 193. Die Vergrößerung des Volumens durch die Einwirkung der Wärme, welche bereits im Vorstehenden angedeutet wurde, ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper, der sich die Glieder keines Aggregatzustandes entziehen können. Die Vergrößerung, welche die festen und die tropfbarflüssigen Körper erfahren, ist eine verhältnißmäßig sehr unbedeutende; allein sie erfolgt mit großer fast unwiderstehlicher Gewalt, und wenn man sieht, daß eine Eisenstange sich unter dem Einflusse der Wärme um eine Linie ausdehnt, kann man sich einen Begriff von diesem Agens machen, wenn man bedenkt, welcher großen Kraft es

bedurft hätte, durch angehängte Gewichte eine gleiche Verlängerung zu erzielen.

Um die Vergrößerung der festen Körper zu zeigen, reichen unmittelbare Messungen nicht hin, denn hiezu ist sie zu klein; man muß die Wirkung in vergrößertem Maaße betrachten. Hiezu dient der in Fig. 231 angedeutete Apparat. Eine Stange AB stößt in A an die feste Wand ab, in B an den Zeiger cd. Wird die Stange erwärmt und dehnt sie sich aus, so schiebt sie, weil A fest ist, B vor sich her und der Zeiger cd rückt je nach der Ausdehnung mehr oder weniger gegen f hin. Die Bewegung wird um so leichter zu sehen sein, je länger die Strecke cd im Verhältnisse zu cB ist. Hat man nun die Längen AB, cd und cB vor dem Versuche genau gemessen, kennt man ferner die Temperaturdifferenz, so läßt sich aus dem Wege, den der Zeiger auf dem Bogen ef gemacht hat, der Zuwachs von AB leicht berechnen. Zu genauen Versuchen gehören allerdings noch eine Menge von Vorsichtsmaßregeln, doch möge hier die Andeutung des Principes genügen.

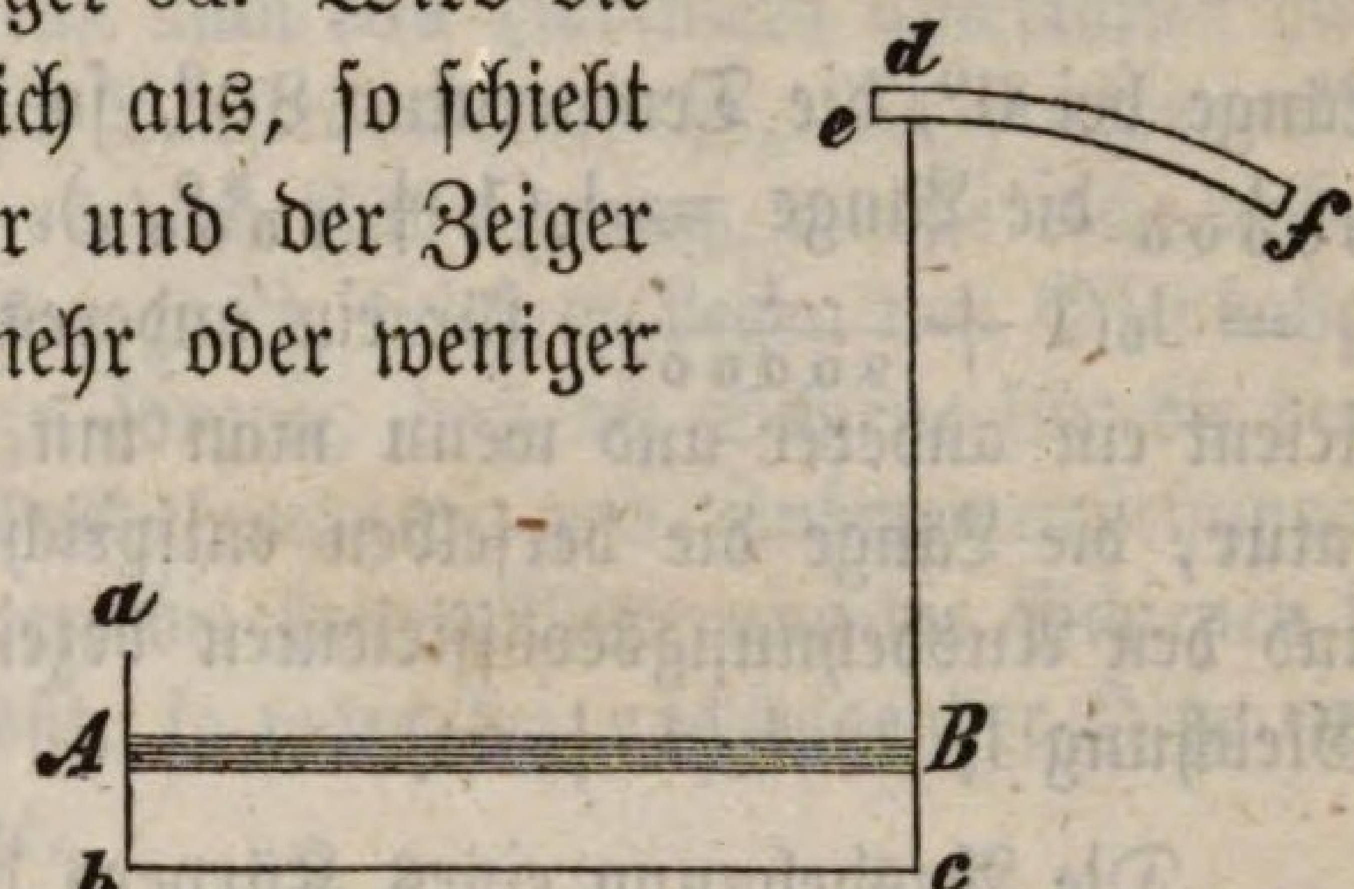


Fig. 231.

Das Resultat der über diesen Gegenstand angestellten Versuche ist, daß alle festen Körper zwischen dem Eispuncte und dem Siedepuncte des Wassers sich gleichmäßig ausdehnen. Wird also eine Eisenstange bei der Erwärmung von 0° auf 10° um eine Linie größer, so wächst sie zwischen 10° und 20° um eine weitere Linie, zwischen 0° und 1° um $\frac{1}{10}$ Linie. Diese Norm gilt aber nicht für alle Temperaturen jenseits 80° R, denn im Allgemeinen wird dann die Zunahme der Länge etwas größer, ändert sich jedoch bei den einzelnen Körpern verschieden. Wenn sich eine Stange von bestimmter Länge um eine Linie ausdehnt, so wächst eine andere von demselben Material, die halb so lang ist, bei der gleichen Temperaturerhöhung nur um eine halbe Linie und es ist daher der Zuwachs ein aliquoter Theil der Länge des Stabes. Man kann nun angeben, um den wievielten Theil eine Stange von der Länge 1 sich ausdehnt, wenn die Wärme um 1° höher wird, und dieser Bruch, der bei den einzelnen Körpern einen verschiedenen Werth hat, heißt der Ausdehnungscoëfficient. Wenn man z. B. sagt, ein Körper habe den Ausdehnungscoëfficienten $\frac{1}{90000}$, so will das heißen, daß derselbe bei jedem Grade Temperaturzunahme eine Ver-

längerung erleidet, die $\frac{1}{90000}$ von der Länge beträgt, die er bei 0° hatte.

Man erhält den Ausdehnungscoëfficienten, wenn man die bei einer Temperaturerhöhung von 0° auf 1° stattgefundene Ausdehnung durch die ursprüngliche Länge dividirt. Bezeichnen wir Zuwachs und ursprüngliche Länge mit b und a, den Coëfficienten mit c, so wird $c = \frac{b}{a}$. Ist l_0 die Länge bei 0°, die Temperatur 80°, so ist bei dem Ausdehnungscoëfficienten $\frac{1}{90000}$ die Länge $= l_0(1 + \frac{80}{90000})$. Bei der Temperatur t^0 ist die Länge $l_t = l_0(1 + \frac{t}{90000})$, für ein anderes Material ist der Ausdehnungscoëfficient ein anderer und wenn man mit t, l_t, l_0 und α die gegebene Temperatur, die Länge die derselben entspricht, die welche der Körper bei 0° hat und den Ausdehnungscoëfficienten bezeichnet, so erhält man die allgemeine Gleichung $l_t = l_0(1 + \alpha t)$.

Die Ausdehnung eines Körpers durch die Wärme beschränkt sich nicht blos auf eine, etwa die Längenrichtung, sondern findet nach allen Seiten im Verhältnisse zu deren Länge statt. Ist z. B. der Körper ein Würfel von der Seitenlänge a und erhält die Seite durch die Wärme für jeden Grad einen Zuwachs b, so ist sein Volumen vor der Erwärmung $= a^3$, nach derselben $= (a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$ und der Zuwachs seines Volumens beträgt daher $3a^2b + 3ab^2 + b^3$. Die Größe b ist gegen a stets nur sehr klein und die Werthe $3ab^2$ und b^3 können daher gegen den von $3a^2b$ ohne bemerkenswerthen Fehler vernachlässigt werden. Analog dem oben für den linearen Ausdehnungscoëfficienten angewandten Verfahren erhält man den räumlichen Ausdehnungscoëfficienten, wenn man den Zuwachs durch das ursprüngliche Volumen dividirt, und es wird also

$$C = \frac{3a^2b}{a^3} = \frac{3b}{a}.$$

Durch Vergleichung dieses Ausdruckes mit dem Werthe des linearen Ausdehnungscoëfficienten ergibt sich, daß die räumliche Ausdehnung der dreifachen linearen gleich sei.

Ist der innere Bau eines Körpers nach allen Richtungen gleich, so ist es auch die Ausdehnung, die er durch die Wärme erfährt; ist dagegen der Bau verschieden, so ist es auch die Ausdehnung. Aus diesem Grunde dehnen sich die optisch einaxigen Krystalle in der Richtung der optischen Axe anders aus als senkrecht darauf, und bei den zweiaxigen Krystallen ist die Ausdehnung nach der Richtung der kleinsten Dimension des Krystalles (der Richtung der kleinsten krystallographischen Axe) verhältnißmäßig größer als nach der großen.

Die linearen Ausdehnungscoëfficienten einiger Körper für Réaumurgrade sind in nachstehender Tabelle angegeben.

Platin	0.00000856	Kupfer	0.00001717
Weißes Glas	0.00000862	Messing	0.00001892
Gußeisen	0.00001110	Silber	0.00001909
Stabeisen	0.00001167	Zinn	0.00002173
Gold	0.00001552	Zink	0.00003331

Diese Ausdehnungscoëfficienten sind jedoch nicht allemal genau dieselben, denn wenn ein und derselbe Körper vor dem Versuche gehämmert oder gewalzt wird, ist das Resultat etwas wenn auch nicht bedeutend von dem verschieden, das man erhält, wenn man das Hämmern unterlassen hat.

So gering, wie man aus dem Vorstehenden sieht, die Ausdehnung eines festen Körpers auch ist, so gibt es doch Fälle genug, wo sie nicht unberücksichtigt bleiben darf. So darf man z. B. bei dem Legen von Eisenbahnschienen niemals unterlassen dafür zu sorgen, daß die Schiene für die dem Temperaturwechsel entsprechenden Ausdehnungen und Zusammenziehungen einen Spielraum behält. Würde man bei kalter Witterung die Schienen so legen, daß die eine an die andere stößt, so wäre bei nachfolgender Hitze eine Verwerfung die unausbleibliche Folge.

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme übt einen nicht zu übersehenden Einfluß auf den Gang der Uhren aus. Ist die Uhr eine Pendeluhr, so wird bei Erhöhung der Temperatur die Pendelstange länger und nach §. 81 muß die Uhr jetzt langsamer gehen. Allerdings ist bei der geringen Verlängerung die Oscillationsdauer nur um ein Minimum größer geworden, wenn aber viele solche Oscillationen einander folgen, so summiren sich doch die Fehler zu einer merkbaren Größe. Für genaue Uhren werden daher die Compensationspendel verwendet. Ein solches besteht aus 5 Stangen, wovon 2 von Messing, 3 von Eisen sind, und deren Anordnung durch Fig. 232 angedeutet ist. Es sei a die Schneide, auf der das Pendel ruht, cc_1c seien die Eisen-, dd die Messingstangen. Wenn sich die Stangen cc ausdehnen, so kommen die Puncte oo, auf denen die Stangen dd aufstehen, herab, durch die Ausdehnung der letzteren kommen mm in die Höhe und durch die Ausdehnung von c_1 wird die Linse L wieder abwärts geführt. Die Eisenstangen streben also das Pendel (die Entfernung der Linse L von a) zu verlängern, während die Messingstangen es verkürzen. Die Eisenstangen wirken mit der Länge $c + c_1$, die Messingstangen mit der Länge d. Wenn das Herabdrücken der Eisenstangen durch das Entgegenwirken des Messings aufgehoben wird, so wird die Länge des Pendels immer die gleiche bleiben, und dieses ist der Fall, wenn die Producte der Längen in die Ausdehnungscoëfficienten bei beiden Metallen gleich sind, wenn also $(c + c_1)0.0000111 = d \,.\, 0.0000189,$

oder $\frac{c + c_1}{d} = \frac{189}{111}.$

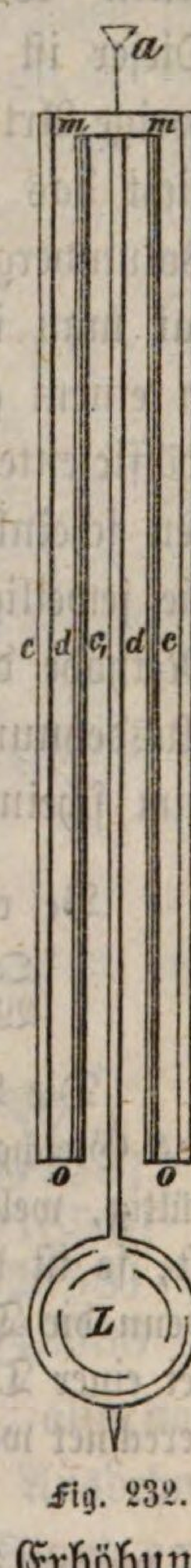


Fig. 232.

§. 194. Die Ausdehnung, welche die Flüssigkeiten bei Erhöhung der Temperatur erleiden, wird gefunden, indem man zwei verticale

Glascylinder durch eine enge Röhre mit einander communiciren läßt. Füllt man beide Cylinder mit der nämlichen Flüssigkeit und hat diese beiderseits die gleiche Temperatur, so muß die Flüssigkeitssäule nach dem Gesetze der communicirenden Röhren auch beiderseits gleich hoch stehen. Dieses ändert sich aber, wenn jeder der beiden Cylinder eine andere Temperatur hat, denn in diesem Falle ist die Flüssigkeit in dem einen Cylinder um so höher, je geringer vermöge der Ausdehnung die Dichtigkeit des Inhaltes geworden ist. Durch Abmessen wird die Höhendifferenz ermittelt und daraus der Ausdehnungscoëfficient berechnet. Man kann auch ein Glasgefäß, das an seinem sehr engen Halse mit einer Marke versehen ist, bis zu dieser mit einer Flüssigkeit füllen und durch Wägung deren Masse bestimmen. Geschieht dieses bei verschiedenen Temperaturen, so kann man auch aus den verschiedenen Wägungsresultaten einen Ausdehnungscoëfficienten berechnen. Dieser ist übrigens nur der scheinbare im Gegensatze zu dem auf die vorige Art zu ermittelnden absoluten, er wäre diesem gleich, wenn nicht das Glas, in dem sich die Flüssigkeit befindet, ebenfalls eine Volumvergrößerung erleiden würde. Da dieses aber der Fall ist, so hat man in Wirklichkeit die Flüssigkeit bald in einem kleineren, bald in einem größeren Gefäße. Hat man den absoluten Ausdehnungscoëfficienten des Körpers nach der ersten Methode bestimmt und dann den scheinbaren nach der zweiten gefunden, so kann man daraus auch die jeweilige Veränderung des Glases berechnen, und da die zweite Methode die bequemere ist, kann man nun nach ihr auch den absoluten Ausdehnungscoëfficienten erhalten, weil man jetzt seine Beziehungen zum scheinbaren kennt.

Bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 auf 80^0 R dehnen sich aus

Quecksilber	um 0.018	Weingeist	um 0.100
Wasser	„ 0.043	Oel	„ 0.100

Die Quecksilbersäule im Barometer muß (§. 55) dem Drucke der Luft das Gleichgewicht halten. Es ist nun nach dem Vorstehenden nicht gleichgültig, welche Temperatur das Quecksilber habe, denn wenn diese bedeutend ist, so ist die Dichtigkeit eine geringere und die Quecksilbersäule höher, als wenn die Temperatur 0^0 wäre. Aus diesem Grunde muß aus dem jeweilig bei einer Temperatur t beobachteten Barometerstande b_t der wahre Stand berechnet werden. Es geschieht dieses für Celsiusgrade vermittelst der Formel:

$$b_t = b_0(1 + \frac{t}{5550}) = b_0(1 + 0.00018t),$$

in welcher Formel b_0 und b_t den Barometerstand bei 0^0 und bei t^0 bezeichnen.

Für Réaumurgrade hat man $b_t = b_0(1 + \frac{t}{4440}) = b_0(1 + 0.00023t)$ zu nehmen.

Die Ausdehnung der Flüssigkeiten in der Wärme ist selbst zwischen 0° und 100° nicht ganz so gleichmäßig wie die der festen Körper, oder wenigstens hat man bei letzteren wegen der ungenaueren Untersuchungsmethode die Unregelmäßigkeiten nicht so kennen gelernt. Nach Regnault ist das Volumen des Quecksilbers bei t° C ausgedrückt durch die Formel

$$v_t = v_0(1 + 0.000179007t + 0.000000252316t^2).$$

Es wächst demzufolge das Volumen bei höheren Graden etwas rascher als bei niedrigen. Das Thermometer, das auf dem Satze beruht, daß der Coëfficient von $t^2 = 0$ sei, ist daher nicht absolut richtig, es kann jedoch der Fehler vernachlässigt werden, wenn t nicht sehr groß ist. Bei dem Weingeist ist diese Abweichung in noch höherem Maaße der Fall.

§. 195. Das Wasser ändert sein Volumen unter dem Einflusse der Temperatur nicht nur sehr unregelmäßig, sondern es macht auch noch die große Ausnahme, daß es innerhalb bestimmter Gränzen bei der Erwärmung sich nicht ausdehnt, sondern dem allgemeinen Gesetze entgegen sich sogar zusammenzieht. Füllt man ein Thermometerrohr, das eine etwas große Kugel hat, mit Wasser und läßt man dasselbe in einer Mischung von Eis und Wasser bis auf 0° erkalten, so wird das Wasser in der Röhre eine bestimmte Höhe erreichen. Wird die Kugel nun aus dem Eiswasser entfernt und läßt man ihren Inhalt sich allmählig erwärmen, so erkennt man an dem Sinken der Flüssigkeit in der Röhre, daß sich dieselbe zusammenzieht, worauf wenn endlich das Minimum des Volumens erreicht ist, bei fortdauernder Erwärmung das Steigen wieder beginnt und von nun an, wenn auch unregelmäßig fortdauert. Erkältet man jetzt wieder durch Eiswasser, so findet wieder bis zum vorigen Minimum eine Contraction und bei fortdauernder Abkühlung bis 0° eine Ausdehnung statt. Nach Kopp ist das Volumen des Wassers bei den einzelnen Temperaturgraden von Réaumur

Temp.	Vol.	Temp.	Vol.	Temp.	Vol.
0°	1.000000	6°.4	0.999986	32°	1.007531
1°.6	0.999908	8°	1.000124	48°	1.016590
3°.2	0.999877	12°	1.000695	64°	1.028581
4°.8	0.999903	16°	1.001567	80°	1.042986

Man sieht hieraus, daß das Minimum des Volumens, also das Maximum der Dichtigkeit auf 3°.2 R fällt, worauf wieder Ausdehnung in der Weise erfolgt, daß bei etwas über 6°.4 R der Stand von 0° wieder hergestellt ist.

Auf diesem Verhalten beruht der Umstand, daß in tieferen Seeen das Wasser am Boden nicht unter 3°.2 erkalten kann, was zur Erhaltung der Wasserthiere noch hinreicht. Das Eis, in welches das Wasser von 0° bei noch weiterer Erkältung übergeht, hat eine noch geringere Dichtigkeit (0.918) als dieses und schwimmt auf der Oberfläche. Es kann in ruhendem Wasser nicht auf dem Boden entstehen und das sogenannte Grundeis kann daher nur in Flüssen vorkommen, wo während des Fließens Wasser von 0° mit dem Boden in Berührung kommt und dort erstarrt.

Das Meerwasser, das sich von dem süßen durch seinen Salzgehalt unterscheidet, befolgt ein anderes Ausdehnungsgesetz als dieses, hat auch nach Ermann wenigstens zwischen + 8° und — 3° C kein Minimum des Volumens.

Das Gewicht eines Cubiccentimeters destillirten Wassers von 4° C ist die Basis des französischen Gewichtes, es ist ein Gramm.

Da bei Bestimmung des specifischen Gewichtes die Dichtigkeit des Wassers als Einheit angenommen ist, diese selbst aber wechselt, so muß bei genaueren Untersuchungen auch auf die Schwankungen dieser Einheit Rücksicht genommen werden. Man beobachtet daher bei diesen Arbeiten die Temperatur des benützten Wassers und reducirt das gefundene specifische Gewicht auf 0°. Ist z. B. die Dichtigkeit eines Körpers 3.03842mal so groß als die von Wasser von 12° R, so ist das specifische Gewicht desselben auf 0° reducirt $= \frac{3.03842}{1.000695}$.

§. 196. Die Ausdehnung der Luftarten durch den Einfluß der Wärme findet man am einfachsten in einer der Bestimmung des scheinbaren Ausdehnungscoëfficienten der tropfbaren Flüssigkeiten analogen Weise. Man zieht den Hals eines Glaskolbens in eine dünne Spitze aus und erwärmt die im Kolben enthaltene Luft dadurch, daß man denselben in siedendes Wasser steckt. Hat nun die Luft die Temperatur des letzteren angenommen, so wird die Spitze zugeschmolzen, der Kolben umgekehrt in Quecksilber gebracht und die Spitze abgebrochen. Durch die Erwärmung hat sich die Luft ausgedehnt und weil sie nun im Kolben nicht mehr Platz hatte, ist ein Theil entwichen. Bei der Abkühlung findet eine Zusammenziehung statt und da die durch Abbrechen geöffnete Spitze in Quecksilber eingetaucht ist, dringt letzteres vermöge des Luftdruckes in den Kolben. Wird die Luft durch Eiswasser bis auf 0° abgekühlt, so wird eine entsprechende Menge von Quecksilber eingedrungen sein und da diese durch Wägung leicht bestimmt werden kann, findet man, um wieviel sich die Luft zusammenzieht, wenn man sie von der Siedehitze bis 0° abkühlt, wie viel sie sich also im umgekehrten Falle ausdehnt. Auch hier erhält man nur die scheinbare

Ausdehnung, aber daraus kann die absolute leicht abgeleitet werden, wenn man vor dem Versuche nach der in §. 194 angegebenen Methode die Aenderung des Glaskolbens bestimmt hat.

Die Luftarten zeichnen sich vor den übrigen Körpern dadurch aus, daß die Ausdehnung, die sie durch Temperaturerhöhung erfahren, gleichzeitig bedeutender und regelmäßiger ist. Nach Gay-Lussac dehnen sich alle Gase bei gleichen Temperatur-Veränderungen um gleich viel aus und der gemeinschaftliche Ausdehnungscoëfficient ist bei Anwendung von Celsiusgraden 0.00375 oder bei Réaumurgraden 0.0047. Der Zuwachs an Volumen ist dem Zuwachse der Wärme genau proportional, so lange man nicht derjenigen Temperatur nahe ist, bei der das Gas flüssig wird. Bekanntlich ändern die Luftarten ihr Volumen je nach dem auf ihnen lastenden Drucke (§. 57), wenn aber der Druck während des Versuches unverändert bleibt, so wird es auch die Ausdehnung sein. Hat eine Luftart bei einem Drucke von 760 Millimetern und der Temperatur 0^0 den Raum v erfüllt, so wird nach dem Mariotte'schen Gesetze bei dem Barometerstande b und bei gleichbleibender Wärme ihr Volumen $v' = \frac{v \cdot 760}{b}$ sein, und ändert sich nun die Temperatur auf t^0, so ist nach dem Gay-Lussac'schen Gesetze das Volumen $v'' = \frac{v \cdot 760}{b}(1 + 0.0047t)$.

Spätere Untersuchungen haben ergeben, daß das Gay-Lussac'sche Gesetz ebenso wie das Mariotte'sche (§. 57) wohl nahezu aber nicht ganz genau sei. Es ist allerdings der Satz geblieben, daß die Volumenzunahme der Temperaturveränderung proportional sei; allein Regnault hat gefunden, daß der Ausdehnungscoëfficient nicht bei allen Gasen der nämliche und im Durchschnitte etwas kleiner als der von Gay-Lussac angegebene sei. Diejenigen Gase, die sich leichter condensiren lassen, haben eine etwas größere Ausdehnung und letztere wächst wenn auch nur sehr wenig bei Anwendung eines höheren Druckes. Als Durchschnittswerth des Ausdehnungscoëfficienten, der auch für die atmosphärische Luft gilt, hat man nach Regnault zu setzen 0.00458 und dadurch ändert sich auch die im Vorstehenden angegebene Formel um in $v'' = \frac{v \cdot 760}{b}(1 + 0.00458t)$.

Wenn eine Luftsäule von 0^0 und der Höhe h einen bestimmten Druck d auf ihre Basis ausübt und ihre Wärme sich um t Grade erhöht, so wird der Ausdehnung wegen ihre Höhe $= h(1 + 0.00458t)$. Ist die Wärme nicht allenthalben gleich, sondern ist sie unten $= t$ und geht dann in regelmäßigem Wechsel bis oben allmählig in T über, so kann man das arithmetische Mittel beider Temperaturen als die allen Schichten der Säule ge-

meinschaftliche annehmen und ihre Höhe wird für den Druck d den Werth $h\left(1 + 0.00458\left(\frac{t+T}{2}\right)\right)$ oder bei Anwendung des Celsiusthermometers $h\left(1 + 0.003665\left(\frac{t+T}{2}\right)\right)$ erhalten. Auf diesem Schlusse beruht der Ausdruck $\left(1 + 0.0037\left(\frac{t+T}{2}\right)\right)$ in der §. 58 angegebenen Barometerformel, in welcher 0.0037 als hinlänglich genau an die Stelle von 0.003665 gesetzt ist. Die Formel beruht auf der Annahme, daß die Temperatur von unten nach oben regelmäßig abnehme, was nicht ganz richtig ist, weßhalb auch die erwähnten Fehler zum Vorschein kommen.

Wird Luft erwärmt, so dehnt sie sich aus, wird daher specifisch leichter und steigt, wenn sie rings von kälterer Luft umgeben ist, in die Höhe. Hierauf beruht der §. 66 besprochene Luftballon Montgolfiers, und auch die Strömungen der Luft, die Winde, werden dadurch hervorgerufen. Allenthalben, wo eine Wärmedifferenz besteht, geht die erwärmte Luft in die Höhe und weil zu ihrem Ersatz kalte Luft herbeikommt, entsteht eine Strömung derselben, die in der Tiefe gegen den warmen Ort hingeht, während in der Höhe durch die dort stattfindende Ausbreitung der erwärmten Luft die entgegengesetzte Richtung beobachtet wird. Man kann diese Strömungen im geheizten Zimmer leicht nachweisen, wenn man einen kleinen Luftballon, dessen Steigkraft nur sehr unbedeutend ist, zu Hülfe nimmt. In die Nähe des Ofens gebracht, geht er alsbald gegen diesen hin, steigt dann in die Höhe, entfernt sich oben wieder und sinkt in der Entfernung wieder herab.

Der aufwärts gehende Luftzug ist am stärksten, wenn den aufsteigenden Theilen durch die schon in der Höhe befindliche Luft keine Hindernisse in den Weg gelegt werden, und dieses Ziel erreicht man am besten, wenn man ihr einen eigenen Weg anweist, in dem alle warmen Lufttheilchen mit einander also ohne Wärmeverlust fortgehen. Wird so die warme Luft schnell weiter geschafft, so dringt frische um so leichter nach, es erhöht sich der Luftzug. Hierauf beruht die Wirkung der Schornsteine, Lampencylinder u. s. w.

§. 197. Die Vergrößerung des Volumens ist nicht die einzige Wirkung, welche die Wärme auf die Körper ausübt; ihre zweite Arbeit ist die Veränderung des Aggregatzustandes, die in der Weise vor sich geht, daß bei zunehmender Wärme der feste Aggregatzustand mit dem tropfbarflüssigen und dieser mit dem gasförmigen vertauscht wird; doch können auch feste Körper unmittelbar die Luftform annehmen.

Wird ein fester Körper dem Einflusse der Wärme ausgesetzt, so dehnt er sich einige Zeit lang aus und bei fortwährender Zunahme der Temperatur kommt endlich ein Punct, wo er zur Flüssigkeit wird, d. i. schmilzt. Die Wärme, die die Körper haben müssen, um schmelzen zu können ist verschieden. Einige Körper schmelzen schon bei sehr

niedriger Temperatur und kommen uns daher im gewöhnlichen Leben nur als Flüssigkeiten vor, wie z. B. das Quecksilber, das bei — 31° R fest wird, während der Schmelzpunct des Alcohols so tief liegt, daß man ihn noch niemals auch nicht bei der niedrigsten Temperatur im festen Zustande gesehen hat. Die übrigen festen Körper reihen sich an einander in der Weise an, daß der Schmelzpunct des einen immer höher liegt als der andere und zuletzt kommt man wieder zu Extremen, welche zur Flüssigmachung eine so hohe Temperatur nöthig haben, daß sie bisher noch nicht im vollen Flusse befindlich wahrgenommen wurden. Hier ist der Kohlenstoff wenn nicht das letzte doch eines der letzten Glieder der Reihe und das Aeußerste, was von ihm in dieser Beziehung beobachtet wurde, ist, daß Despretz Kohle unter dem Einflusse der durch starke electrische Ströme hervorgebrachten Hitze biegsam werden sah. Einzelne Körper, unter denen besonders die Stoffe organischen Ursprunges vertreten sind, wie z. B. Holz, Federn, Papier können nicht geschmolzen werden, weil sie bei höherer Temperatur sich eher zersetzen als schmelzen.

In nachstehendem Verzeichnisse sind die Schmelzpuncte einiger Körper angegeben:

Quecksilber	— 31° R	Schwefel	89°	Silber	800°
Terpentinöl	— 8	Zinn	186	Kupfer	880
Eis	0	Wismuth	214	Gußeisen	880—960
Phosphor	+ 35	Kadmium	260	Gold	960
Weißes Wachs	54	Blei	267	Stabeisen	1200—1280

Bei Mischungen von Körpern von verschiedenen Schmelzpuncten kann man zwar im Allgemeinen annehmen, daß ihr Schmelzpunct zwischen denen der Bestandtheile liege, doch begegnet man sehr vielen Ausnahmen von der Regel und dann ist der Schmelzpunct der Mischung niedriger als er sich aus dem Verhalten ihrer Bestandtheile berechnen würde. So schmilzt das Stabeisen nur sehr schwer, der Kohlenstoff kann fast als unschmelzbar betrachtet werden, aber ihre Verbindung, das Gußeisen, fließt schon bei 880—960 Graden. Besonders die Legirungen, d. i. die Verbindungen von Metallen unter einander sind hierin ausgezeichnet. So schmilzt eine Legirung aus 4 Theilen Wismuth, 1 Th. Blei und 1 Th. Zinn, das sogenannte Rose'sche Metall bei 75° R und die Legirung aus 4 Th. Wismuth, 2 Th. Blei, 1 Th. Zinn und 1 Th. Kadmium, das Wood'sche Metall, bei 57° R. Auch die Legirung aus 5 Th. Zinn und 1 Th. Blei, das sogenannte Schnellloth der Blechner, schmilzt schon bei 155° R, also früher als jeder der Bestandtheile für sich.

§. 198. Dem Schmelzen ist das Erstarren entgegengesetzt und eine Flüssigkeit, die gehörig abgekühlt wird, wandelt sich in einen festen Körper um. Unter den gewöhnlichen Umständen sind Schmelz=

ungs= und Erstarrungstemperatur für den nämlichen Körper gleich; wird z. B. Eis über 0° erwärmt, so schmilzt es, während umgekehrt Wasser unter 0° erkältet, gefriert; doch zeigt sich der Erstarrungspunct im Allgemeinen weniger constant als der Gefrierpunct. So kann Wasser, das sich in vollkommener Ruhe befindet, mehrere Grade unter 0° erkalten ohne zu gefrieren, und im luftverdünnten Raume kann es selbst bis zu — 8° flüssig bleiben. Es gibt daher wohl Wasser, dessen Temperatur unter Null ist, nicht aber Eis, das wärmer ist als 0°, und bei der Herstellung der Thermometer, bei denen der Nullpunct immer derselbe sein muß, ist daher der Schmelzpunct des Eises als Ausgangspunct zu nehmen, weßhalb auch die so häufige Benennung Gefrierpunct, worunter die Stelle 0° verstanden ist, nicht ganz richtig ist.

Bei Flüssigkeiten, die aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzt sind, kann es vorkommen, daß sie bei der Erstarrung sich in ihre Bestandtheile trennen. Wird eine Lösung von Kochsalz in Wasser stark abgekühlt, so setzen sich Eiskrystalle an, die bei dem Schmelzen süßes Wasser geben, während die zurückbleibende Flüssigkeit eine concentrirtere Lösung des Salzes ist. Es schieben sich also die Salztheile näher zusammen. Dieses Verhalten beobachtet man bei dem Meerwasser, das bei dem Gefrieren wenigstens am Anfange Süßwassereis gibt. Man benützt die Erscheinung in kälteren Ländern zur Darstellung des Kochsalzes aus dem Meerwasser, denn wenn ein Theil des Wassers sich als Süßwassereis abgeschieden hat, bleibt eine concentrirtere Lösung zurück, die zum Einsieden nicht mehr so langes Kochen nöthig hat, als die ursprünglich verdünntere. Auch Essig und Wein können stärker gemacht werden, wenn man sie dem Froste aussetzt und die dabei sich bildenden Eiskrystalle entfernt.

§. 199. Wenn die Aenderung des Aggregatzustandes eine Arbeit der Wärme ist, so kann der hiezu verwendete Theil derselben nicht noch anderweitig thätig sein und die Wirkung derselben auf das Gefühl, das was wir Temperatur nennen, muß daher beeinträchtigt werden, sobald die Wärme mehr oder weniger dazu verwendet wird, feste Körper in flüssige umzuwandeln. Wird daher Eis von 0° dem Einflusse der Wärme ausgesetzt, bringt man z. B. dasselbe in einem Gefäße über eine Flamme, so beobachtet man, daß das Eis wohl schmilzt, daß aber das Thermometer eine Temperaturerhöhung nicht anzeigt. Das Eis von 0° nimmt eine ganze Menge von Wärme auf und verwandelt sich mit Hülfe derselben in Wasser von 0°, aber so lange noch festes Eis in der Flüssigkeit herumschwimmt, erhöht sich seine Temperatur nicht, und erst wenn alles geschmolzen ist, zeigt das bisher un=

bewegliche Thermometer durch Steigen eine Temperaturveränderung an. Die Wärme, welche so auf Aenderung des Aggregatzustandes verwendet wird und für das Gefühl wie für das Thermometer verloren geht, heißt gebunden oder latent. Um Eis von 0° in Wasser von 0° umzuwandeln ist so viel Wärme nöthig, als man braucht, um Wasser von 0° um 63° R zu erwärmen, und wenn wir diejenige Menge von Wärme, welche nothwendig ist, um Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen, eine Wärmeeinheit oder Calorie nennen, so haben wir zum Schmelzen des Eises 63 Wärmeeinheiten nöthig. Die Wärme, welche so gebunden wird, geht darum nicht verloren, denn wenn Wasser umgekehrt sich in Eis umwandelt, so wird sie wieder frei. Hat man z. B. Wasser ohne Aenderung seines Aggregatzustandes unter 0° abgekühlt und läßt man es dann gefrieren, so wandelt sich allerdings alsbald ein Theil davon in Eis um. Dabei wird aber die betreffende latente Wärme frei und diese wird nun dazu verwendet, um den Rest des Wassers zu erwärmen. Ein in dieses Wasser gebrachtes Thermometer steigt daher sehr rasch bis auf 0° und sowie dieser Punct erreicht ist, hört das weitere Erstarren auf.

Unter Zuhülfenahme der oben erwähnten Erfahrung, daß manche Verbindungen früher schmelzen als jeder ihrer Bestandtheile, kann man künstlich die Temperatur erniedrigen, indem man einen Körper ohne Beifügung von Wärme zwingt, den festen Aggregatzustand zu verlassen. So schmilzt bekanntlich das Eis bei 0°, das Chlorcalcium bei einer Temperatur, welche 100° jedenfalls weit übersteigt, die Verbindung beider Substanzen aber, nämlich die Lösung von Chlorcalcium in Wasser schmilzt schon bei einer Wärme, die zwar je nach der Menge des Salzes verschieden ist, aber bei concentrirteren Lösungen — 16° bis — 24° beträgt. Mischt man nun Schnee und Chlorcalcium, so entsteht diese Verbindung, und da dieselbe über ihrem Schmelzpuncte ebensowenig als Eis über 0° fest sein kann, werden Schnee und Chlorcalcium gleichzeitig flüssig, die zur Schmelzung nöthige Wärme wird gebunden und da sie von außen nicht herbeigeschafft wird, dem vorhandenen Quantum von fühlbarer Wärme entzogen. Auf diesem Satze beruhen die sogenannten Kältemischungen. Solche sind:

	Abkühlung von	bis
1 Theil Wasser mit 1 Th. salpetersaurem Ammoniak	+ 8°	— 12° R
8 Th. gepulvertes Glaubersalz mit 5 Th. Salzsäure	+ 10°	— 14°

	Abkühlung von	bis
Gleiche Theile Schnee und verdünnte Schwefelsäure	—6°	—40° R
Gleiche Theile Schnee und Kochsalz	0°	—14°
Gleiche Theile Schnee und kryst. salzsaurer Kalk	0°	—36°
1 Th. Schnee und 2 Th. kryst. salzsaurer Kalk	—14°	—44° .

Bei der künstlichen Eisbereitung wird das Wasser, welches gefrieren soll, in einem Gefäße in eine Kältemischung gestellt.

Die Bindung von Wärme findet jedesmal statt, wenn ein Körper aus dem festen Zustande in den tropfbarflüssigen übergeht; aber die Menge der gebundenen Wärme wechselt von dem einen Körper zum andern. Halten wir die oben gegebene Definition von Wärmeeinheit fest, so bindet die Gewichtseinheit nachstehender Substanzen die beigedruckte Zahl von Wärmeeinheiten:

Quecksilber	2.2	Schwefel	7.5	Chlorcalcium	32.6
Phosphor	4.0	Zinn	11.4	Salpeter	37.9
Blei	4.3	Zink	22.5	Salpeters. Natron	50.4

§. 200. Wie der feste Körper durch Zuführung von Wärme zur Flüssigkeit wird, so nimmt die letztere, wenn man ihre Temperatur hinlänglich erhöht, die Luftform an, sie verwandelt sich in sogenannten Dampf. Man kann sich hievon leicht überzeugen, wenn man Wasser in einer offenen Schale erhitzt, denn nach einiger Zeit wird dasselbe aus dem Gefäße verschwunden sein, weil es sich in Gasform in die Luft begeben hat. Es spielt jedoch in der Frage, in wie weit die Existenz des Dampfes als solchen möglich sei oder nicht, der auf demselben lastende Druck eine so wichtige Rolle, daß es zuerst nöthig ist, dieselbe zu besprechen.

In dem Barometer steigt, wie in §. 55 bereits erwähnt wurde, das Quecksilber bis zu einer solchen Höhe, daß der Druck des Quecksilbers dem Drucke der ganzen Luftsäule von dem Niveau in der offenen Barometerröhre bis zur Gränze der Atmosphäre gleichkommt. Bringt man in die Toricellische Leere etwas Luft, so breitet sich dieselbe darin aus, und sie übt auf das unter ihr befindliche Quecksilber einen Druck aus, vermöge dessen letzteres die frühere Höhe nicht mehr erreicht. Der Druck der innern Luft kommt, wie bereits §. 57 gezeigt wurde, dem Drucke einer Quecksilbersäule gleich, welche eben so hoch ist als die Differenz zwischen dem Stande vor und nach der Einführung der Luft. Durch den Apparat Fig. 61 läßt sich zeigen, daß die Wirkung der eingeschlossenen Luft eine verschiedene ist je nachdem ihre Dichtigkeit wechselt, und wenn viel Luft in die enge Röhre gebracht wird, so muß demzufolge auch die Depression des Quecksilbers eine größere werden.

Führt man in eine zweite Röhre statt der Luft Aether in kleiner Quantität ein, so verschwindet derselbe sowie er in die Toricellische Leere gelangt alsbald, er verwandelt sich in Dampf, das Quecksilber fällt ebenso wie vorhin bei der Luft und der gebildete Aetherdampf verhält sich also gerade so wie diese. Zieht man die enge Röhre in die Höhe, so wird man ganz genau dem früheren Resultate analog finden, daß der von dem Aetherdampfe eingenommene Raum in demselben Maaße wächst, als die Differenz zwischen der Höhe der Quecksilbersäule im Rohre und dem Barometerstande abnimmt, je geringer also der auf den Dampf wirkende Druck wird. Drückt man die Röhre, in welcher Luft ist hinab, so wird die Höhe der Quecksilbersäule gleichzeitig mit dem Volumen der eingeschlossenen Luft kleiner, und wenn das Quecksilber innen und außen gleich hoch steht, so hat wie schon §. 57 angegeben wurde, die innere Luft die Dichtigkeit der äußern. Versucht man dieses Hinabdrücken auch bei der Aether enthaltenden Röhre, so zeigt sich, daß so lange der auf letzteren ausgeübte Druck schwach ist, der Dampf sich eben so verhält wie die Luft, wenn aber durch Hinabschieben der Röhre der Druck stärker wird, so folgt der Dampf nicht mehr dem Mariotte'schen Gesetze, die Quecksilbersäule wird von einer bestimmten Stelle an nicht mehr kürzer und der Dampf condensirt sich in demselben Maaße, als sich durch Herabdrücken der Röhre der ihm übrig gelassene Raum verringert. Die Molecüle des Dampfes haben ein bestimmtes Expansionsvermögen, sie können einer Wirkung, die sie zusammenzudrücken strebt, bis zu einer bestimmten Gränze Widerstand leisten und je kleiner bei gleicher Masse ihr Volumen wird, um so größer ist ihr Widerstandsvermögen, ihre Spannkraft; wird aber der Druck stärker, so wird von einer bestimmten Gränze an nicht wie bei den Gasen durch weitere Volumverringerung die Spannkraft vergrößert, sondern der Dampf kehrt in den tropfbarflüssigen Zustand zurück. Der Punct, bei welchem die Condensation beginnt, der äußerste Widerstand also, den der Dampf leisten kann, heißt das *Maximum seiner Spannkraft*. Dieses Maximum der Spannkraft wechselt von der einen Flüssigkeit zur andern, es ändert sich mit der Temperatur in der Weise, daß es bei größerer Wärme einen höheren Werth erreicht.

Bringt man eine Flüssigkeit etwa Wasser in ein Gefäß, das von unten erwärmt wird, so theilt sich die Wärme nach und nach der ganzen Flüssigkeit mit. Dabei entwickelt sich an dem Boden der Flüssigkeit fortwährend Dampf, aber dieser wird, weil die ganze Flüssigkeit

und über dieser die Luft auf ihm lastet, im Entstehen wieder comprimirt. Wenn aber die Temperatur immer höher wird, so steigt auch die Spannkraft des sich bildenden Dampfes, es kommt endlich dazu, daß derselbe den auf ihm lastenden Druck zu überwinden vermag, in Form von Luftblasen sich von dem Boden gegen die Oberfläche bewegt und dann entweicht. Man nennt diese Erscheinung Sieden und zu ihrem Eintreten ist nothwendig, daß die Spannkraft des sich bildenden Dampfes so groß ist, als der Druck der Flüssigkeitssäule und der auf dieser lastenden Atmosphäre zusammen.

Steigen die Dampfblasen in der Flüssigkeit in die Höhe, so wird die über ihnen lastende Säule der letzteren kleiner und kleiner, die Spannkraft des Dampfes wird dadurch größer als der auf sie wirkende Druck, die Blasen dehnen sich also aus, dabei geben sie an die sie umgebende Flüssigkeit Wärme ab, verwandeln damit einen Theil derselben ebenfalls in Dampf und so kommt es endlich, daß wenn die Blase an der Oberfläche ankommt, ihre Spannkraft gerade groß genug ist, um den Druck der Atmosphäre allein überwinden zu können. Die Spannkraft des Dampfes und mit ihr auch seine Temperatur ist daher nicht überall die gleiche: sie ist am Boden gleich dem Drucke der Atmosphäre und der Flüssigkeit zusammen, an der Oberfläche gleich dem Drucke der Atmosphäre allein.

Die Temperatur, bei welcher die verschiedenen Flüssigkeiten sieden, wechselt mit diesen. Die Frage, ob alle Flüssigkeiten sieden können, ist schwer zu beantworten. Es ist bereits in §. 197 darauf hingewiesen worden, daß man nicht sagen könne, ob alle festen Körper schmelzen, und dasselbe gilt von dem Sieden der Flüssigkeiten.

Man bestimmt die Größe der Spannkraft des Dampfes einer Flüssigkeit für verschiedene Temperaturen auf zwei verschiedene Weisen, die man anwendet, je nachdem die Wärme unter der Siedehitze ist oder darüber. Ist die Wärme unter der Siedehitze, so wird ein Barometer, in dessen Raum der Toricellischen Leere sich etwas von der Untersuchungs-Flüssigkeit befindet, bei verschiedenen Temperaturen mit dem Stande eines wirklichen Barometers verglichen, der Dampf der Flüssigkeit drückt die Quecksilbersäule in dem ersteren herab und die Differenz der beiden Barometerstände gibt die jeweilige Spannkraft des Dampfes. Für höhere Temperaturen benützt man ein Glasrohr von der in Fig. 60 angegebenen Form. An einer ziemlich langen Glasröhre ist ein kürzeres Rohr angeschmolzen, und so lange dieses oben

offen ist wird Quecksilber eingegossen, welches dem Gesetze der communicirenden Gefäße zufolge in beiden Röhren gleich hoch steht. Hierauf kommt in das kürzere Rohr die Untersuchungsflüssigkeit, die man dort zum Sieden erhitzt und so lange kochen läßt, bis ihr Dampf die im Rohre befindliche atmosphärische Luft verdrängt hat, worauf das Rohr zugeschmolzen wird. Jetzt bringt man den Apparat in Räume, wo die Temperatur höher ist als die Siedehitze der Flüssigkeit und diese bildet Dampf, dessen Spannkraft an der Differenz des Quecksilberstandes in beiden Röhren erkannt wird. Bei beiden Versuchsmethoden ist darauf zu sehen, daß stets so viel von der Versuchsflüssigkeit genommen wird, daß sich nicht alles in Dampf verwandeln kann, weil sonst bei höheren Temperaturen sich nicht so viel Dampf entwickelt, als bei hinlänglichem Vorrathe geschehen wäre, der Dampf ist dann nicht gesättigt, er ist nur überhitzt und zeigt dann nur die Ausdehnung, die ihm als einer Luftart zukommt.

Nachstehende Tafel gibt die Verhältnisse des Wasserdampfes an.

Temperatur in R-Graden.	Spannkraft.	Dichte des Dampfes. (Wasser = 1)
0	4.6 Mm	0.0000049
16	17.4 „	0.0000172
32	54.9 „	0.0000510
48	148.8 „	0.0001298
64	354.3 „	0.0002909
80	1 Atm.	0.0005919
89.4	1½ „	0.0008602
96.5	2 „	0.0011202
115.2	4 „	0.0021116
136.6	8 „	0.0039706

Die Temperatur, bei welcher der Dampf eine Spannkraft von 760mm erhält, die Siedehitze also, ist wie die nachstehende Tabelle zeigt, bei den verschiedenen Flüssigkeiten verschieden:

Flüssigkeit	Siedehitze	Flüssigkeit	Siedehitze
Cyangas	— 14° R	Schwefelkohlenstoff	38° R
Schweflige Säure	— 8	Alcohol	62
Salzäther	+ 10	Conc. Schwefelsäure	240
Schwefeläther	+ 30	Quecksilber	280

Wäre die bei uns herrschende Temperatur beständig unter — 8°, so würde die schweflige Säure nicht als Gas, sondern als Flüssigkeit auftreten. Der Unterschied zwischen dem gewöhnlichen Aggregatzustande des Wassers und der schwefligen Säure beruht also darauf, daß die letztere früher siedet als ersteres. Wie man durch Abkühlung und Compression den Wasserdampf condensiren kann, so gelingt es bei der schwefligen Säure, es gelingt bei stärkerer Anwendung beider Mittel bei der Kohlensäure u. s. w. und es ergibt sich daraus,

daß der Unterschied zwischen Gas und Dampf nur ein relativer ist. Das Gas ist der Dampf eines Körpers, dessen Siedepunct sehr tief liegt. Es ist nun sehr gut denkbar, daß alle unsere Gase bei gehöriger Abkühlung und Compression sich condensiren lassen; doch kann man dieses so lange das Experiment nicht wirklich gelungen ist, auf die Analogieschlüsse hin nicht behaupten. Vergl. §. 101.

§. 201. Wenn das Sieden einer Flüssigkeit daher rührt, daß die Spannkraft des Dampfes groß genug ist, um den Druck der Flüssigkeit und den der Atmosphäre zu überwinden, so muß es auch früher oder später eintreten, je nachdem man diese beiden Wirkungen kleiner oder größer macht. In flachen Gefäßen siedet das Wasser schneller als in tiefen. Bringt man heißes dem Sieden nahes Wasser unter den Recipienten der Luftpumpe, so siedet es sobald man die Luft verdünnt. Da der Druck der Atmosphäre dem Drucke einer 32 Fuß hohen Wassersäule gleichkommt, so muß in dem nahezu luftleeren Raume das Wasser sehr bald zum Sieden kommen. Am besten läßt sich zeigen, daß das Sieden im luftleeren Raume sehr bald erfolgt, wenn man Wasser in einem Glaskolben zum Sieden erhitzt. Hat dasselbe einige Zeit gekocht, so hat der sich entwickelnde Dampf die ursprünglich im Kolben befindliche Luft verdrängt, und wenn man denselben gut verkorkt, so befindet sich in ihm nichts als Wasser und Wasserdampf. Gesetzt, beide haben eine Temperatur von 64°, so besitzt der Dampf eine Spannkraft von 354.3^{mm}. Gießt man nun kaltes Wasser über den Kolben, so wird der Dampf abgekühlt, und angenommen, er habe eine Temperaturerniedrigung von 48° erlitten, so hat sich so viel von ihm zu Wasser condensirt, daß der Rest nur noch einen Druck von 17.4^{mm} ausübt. Bei dieser plötzlichen Abnahme des Druckes kommt das Wasser, das sich nicht so rasch abgekühlt hat, alsbald zum Sieden, denn da es trotz des Uebergießens mit kaltem Wasser noch wärmer ist als 16°, so entwickelt es auch bei dem geringen Drucke von 17.4^{mm} noch Dampfblasen.

Wie man durch Minderung des Druckes den Siedepunct einer Flüssigkeit erniedrigt, so kann er auch durch Druckvermehrung erhöht werden. Es geschieht dieses zumeist in dem sogenannten Papin'schen Topfe, einem schmiedeeisernen Gefäße mit gleichem Deckel. Wird letzterer fest aufgeschraubt und entwickelt sich durch Sieden des innen befindlichen Wassers Dampf, der des festen Verschlusses wegen nicht entweichen kann, so addirt sich dessen Druck zu dem der im Innern befindlichen Luft und der Siedepunct steigt dann mehr und mehr.

Da der Druck der Luft nicht allenthalben auf der Erde der gleiche bleibt, muß auch der Siedepunct des Wassers wie der andern Flüssigkeiten von Ort zu Ort verschieden sein. So siedet das Wasser in

Quito	in einer	Höhe	von	2908^m	bei	72.°08
Mexico	„	„	„	„ 2270	„	73.°84
Madrid	„	„	„	„ 608	„	78.°24
München	„	„	„	„ 538	„	78.°48
Regensburg	„	„	„	„ 362	„	78.°96
Wien	„	„	„	„ 133	„	79.°60
Berlin	„	„	„	„ 40	„	79.°84

Ist der Siedepunct von dem Luftdrucke, der durch den Barometerstand gemessen wird, abhängig, so kann man offenbar aus ihm den Barometerstand bestimmen, und da letzterer zur Höhenmessung benützt wird, ist auch das Thermometer hiezu geeignet. Man benützt zum Zwecke der Höhenmessung eigens construirte Thermometer, die Hypsometer, an welchen die Röhre sehr eng, die Kugel verhältnißmäßig groß ist, damit man die Wärme möglichst genau bestimmen kann. Da man nur die Temperaturen in der Nähe des Siedepunctes zu sehen braucht, ist das Thermometer, um es nicht unförmlich lang zu machen, nur für diese eingerichtet. Das Hypsometer ist für den Transport viel bequemer als das Barometer, es gibt aber nur den Barometerstand an und hat daher alle Nachtheile, die die Höhenmessung vermittelst des Barometers mit sich bringt und die oben §. 58 erwähnt wurden.

Hat Wasser irgend ein Salz aufgelöst, das bei der Siedehitze des ersteren noch nicht flüchtig ist, so folgt bei dem Sieden eine Trennung der Lösung in ihre Bestandtheile. Der Siedepunct wird hiebei erhöht, aber der entweichende Dampf hat darum keine höhere Temperatur, als wenn er sich aus reinem Wasser entwickelt hätte.

Es wurde oben §. 103 bemerkt, daß die Gase, welche die Bestandtheile unsrer Atmosphäre bilden, sich unter einander so bewegen, als sei jedes ganz allein da, und daß der Gesammteffect unseres Luftkreises fast ganz so sei, als hätten wir eine Atmosphäre von Sauerstoff, eine von Stickstoff u. s. w. Zu diesen verschiedenen Atmosphären kommt noch eine von Wasserdampf. Gesetzt, die andern Bestandtheile des Luftkreises wären nicht vorhanden und wir hätten blos eine Atmosphäre von Wasserdampf, so würde diese als aus einer ganzen Menge über einander lagernder Schichten bestehend gedacht werden können, von denen jede den Druck sämmtlicher über ihr befindlichen auszuhalten hätte, und man hätte ein der gewöhnlichen Luft analoges Verhalten der einzelnen Schichten bezüglich der Dichtigkeit u. s. w. Wie aber die Analogie zwischen Gas und Dampf ihre Gränzen hat, so wird es auch hier der Fall sein. Der Dampf hat nämlich eine Gränze des Druckes, welche nicht überschritten werden darf, wenn er sich nicht condensiren soll, und nehmen wir etwa den Fall an, daß der Druck der Dampfatmosphäre auf die untersten Schichten 17.4^{mm} betrage, so wird nach den im vorigen Paragraphe angegebenen Daten die Frage sein, welche Temperatur diese unterste Lage habe. Ist die Wärme unter 16^0, so übersteigt der Druck die Spannkraft des Dampfes und es muß ein um so größerer Theil davon zu Wasser werden,

je niedriger die Wärme ist. Es erfolgt daher ein Niederschlag. Ist, wie dieses in dieses in der That der Fall ist, der Wasserdampf nicht der alleinige Bestandtheil der Atmosphäre, so ändert dieses das Ganze nicht wesentlich, da ja die einzelnen Atmosphären der verschiedenen Stoffe von einander nahezu unabhängig sind. Ist daher der Dunstdruck in der Luft für die jeweilige Temperatur zu hoch, so entsteht Regen oder Schnee. Ist umgekehrt die Temperatur so hoch, daß das Maximum der Spannkraft von dem auf die untersten Schichten ausgeübten Drucke nicht erreicht wird, so folgt, daß die Atmosphäre im Stande ist, noch mehr Dampf aufzunehmen, und die Aufnahme erfolgt aus dem Vorrathe der Wasserflächen auf der Erde. Auf die oberste Schichte einer Wasserfläche übt der in der Luft befindliche Dampf einen Druck aus, und wenn die der Wassertemperatur entsprechende Spannkraft größer ist als dieser, so geht Wasser in Dampfform über und wandert in die Luft, es verdunstet, vertrocknet. Diese Erscheinung regelt sich nach dem Drucke des in der Luft befindlichen Wasserdampfes, sie wird bei höherer Temperatur stärker sein, sie ist aber bei jeder möglich, denn selbst Eis kann unmittelbar in Wasserdunst übergehen, ein Eisblock im Freien hingelegt kann allmählig verschwinden. Anders ist es, wenn die Wasserdämpfe sich vom Grunde eines Gefäßes erheben sollen, wie dieses beim Sieden der Fall ist. Hier wirkt die Atmosphäre nicht unmittelbar sondern mittelbar durch das Wasser, es ist daher gleichgültig, aus welchen Gasen sie zusammengesetzt sei. Darum auch muß der Dampf beim Sieden den Druck der Flüssigkeitssäule und dazu noch den der ganzen Atmosphäre überwinden.

§. 202. Wie bei dem Uebergange eines festen Körpers in den tropfbarflüssigen Aggregatzustand Wärme gebunden wird, die fortan nicht mehr als fühlbare Wärme auftritt, so findet dieses auch bei dem Uebergange der Flüssigkeiten in die Luftform statt. Ist das Wasser = Eis + Wärme, so ist der Wasserdampf = Wasser + Wärme. Man überzeugt sich hievon sehr leicht, wenn man Wasser in einem offenen Gefäße kocht. Man kann es sieden lassen, so lange man mag, das Wasser wird (insoweit die Tiefe des Gefäßes nicht in Betracht zu ziehen ist) seine 80° Wärme haben und der Dampf ebenfalls. Dieses ist bei dem Anfange des Siedens der Fall, und ändert sich nicht, auch wenn das Kochen noch so lange dauert. Die Wärme, die bei dem Kochen fortwährend von der Wärmequelle in das Wasser übergeht, wird ebenso constant zur Dampfbildung verwendet. Die Wärme, welche nothwendig ist, um eine bestimmte Menge Wasser von 80° R in Dampf von 80° zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer 5.4mal so großen Wassermasse von 0° auf 80° zu erhöhen. Nennt man nun wieder diejenige Wärme, welche nothwendig ist, um das Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen, eine Wärmeeinheit, so folgt, daß der Dampf

nicht weniger als 432 (bei Anwendung von Celsiusgraden 540) derselben consumirt. Umgekehrt gibt der Dampf, wenn er sich in Wasser umwandelt, die gebundene Wärme wieder her. Läßt man Wasser in einem Glaskolben kochen, der in ein Glasrohr mündet, welches wieder in kaltes Wasser taucht, so geht der sich entwickelnde Dampf durch das Rohr in dieses über, condensirt sich da und erwärmt das Wasser.

Auf dem Latentwerden der Wärme beruht die Erscheinung, daß nasse Gegenstände sich kalt anfühlen, weil sie der Hand Wärme entziehen, die sie zur Dampfbildung verwenden. Wenn wir schwitzen und der Schweiß abtrocknet, so nimmt er bei dieser Aenderung des Aggregatzustandes Wärme aus der Haut auf und kühlt dieselbe ab. Ist in der Luft schon sehr viel Wasserdampf, so geht nur schwer weiteres Wasser in dieselbe; wir werden darum nicht abgekühlt und empfinden Schwüle, aus der wir auf bevorstehenden Regen schließen, der bei der großen Menge des in der Luft befindlichen Wasserdampfes auch sehr leicht eintreten kann.

Wie nicht alle Flüssigkeiten denselben Siedepunct haben und nicht alle festen Körper bei dem Uebergange in den tropfbarflüssigen Aggregatzustand die gleiche Wärmemenge binden, so verlangen auch die einzelnen Flüssigkeiten zur Dampfbildung verschiedene Quantitäten latenter Wärme. Um bei dem Drucke einer Atmosphäre in Dampf verwandelt zu werden braucht

Wasser 432 Alcohol 171 Schwefeläther 72

Wärmeeinheiten, wenn man darunter wieder die Menge von Wärme versteht, welche nöthig ist, um das gleiche Gewicht Wasser um 1° R zu erwärmen.

Wie man dadurch, daß man einen festen Körper flüssig werden läßt, künstliche Kälte hervorbringen kann, so ist dieses auch der Fall, wenn man eine rasche Verdunstung eines flüssigen Körpers einleitet. Hieher gehört die oben erwähnte Erscheinung, daß sich nasse Körper kalt anfühlen, in höherem Grade ist dieses jedoch der Fall, wenn man statt des Wassers Schwefeläther verwendet. Umwickelt man ein Thermometer mit Baumwolle, betröpfelt diese mit Schwefeläther und schwingt dann das Thermometer etwas in der Luft, so sinkt dasselbe alsbald bis unter den Gefrierpunct. Wird in ein Uhrglas etwas Wasser gebracht und ein anderes Uhrglas, in dem sich Aether befindet, darüber gelegt, das Ganze unter den Recipienten der Luftpumpe gestellt und rasch gepumpt, so gefriert das Wasser in dem untern Glase, weil der Aether bei seinem raschen Verdunsten ihm sehr viel Wärme entzieht. Noch stärker als Aether wirken jene Stoffe, deren Siedepunct unter 0° liegt, die also für gewöhnlich Luftarten sind. Bei raschem Verdunsten erkältet die flüssige Kohlensäure so bedeutend, daß ein Theil von ihr zu einer Art Schnee erstarrt, dessen Temperatur — 72° R beträgt. In flüssigem Stickstoffoxydul sinkt ein Thermometer bis — 84°, und wenn man es dann herauszieht bis auf — 92°, indem es sich mit einer Kruste von starrem Stickstoffoxydul überzieht.

§. 203. Da es Dampf nicht nur von 80°, sondern solchen von jeder Temperatur gibt, so entsteht die Frage, ob das zur Bildung von Dampf latent werdende Wärmequantum bei jeder Temperatur gleich bleibe, ob also z. B. Wasser von 8° auch nur 432 Wärmeeinheiten zu binden brauche, um damit Dampf von 8° zu bilden, ob mehr oder weniger. Frühere weniger genaue Beobachtungen haben diese Frage dahin beantwortet, daß die in dem Dampfe befindliche Wärme immer die gleiche sei, so daß während man 512 Wärmeeinheiten nöthig hat, um Wasser von 0° zuerst auf 80° R zu erwärmen und dann in Dampf von 80° zu verwandeln, man zur Bildung von Dampf von 8° zuerst 8 Wärmeeinheiten braucht, um das Wasser auf 8° zu bringen, worauf noch 504 Wärmeeinheiten nöthig sind, um den Aggregatzustand zu verändern, so daß also die 512 Wärmeeinheiten wieder beisammen sind. Es wäre demzufolge immer die nämliche Wärme-Quantität zu verwenden, um die gleiche Quantität Wasser in gesättigten Dampf von was immer für einer Temperatur zu verwandeln. Nach Regnault ist dieses Gesetz nicht ganz richtig, wenn man es in der Praxis auch als hinlänglich genau betrachten kann. Nach ihm braucht man 510 Wärmeeinheiten, um aus Wasser von 0° Dampf von 80° R, dagegen 485, um Dampf von 0° zu bilden. Es ist daher zu Herstellung des wärmeren Dampfes eine höhere Wärmemenge nöthig.

§. 204. Die Theorie des Dampfes findet ihre Hauptanwendung in der Dampfmaschine, deren Wirkung auf zweierlei verschiedene Arten stattfinden kann, je nachdem man vermittelst Dampfcondensation einen luftverdünnten Raum herstellt und den darauf wirkenden Luftdruck benützt, oder durch angemessenes Erhitzen dem Dampfe eine Spannkraft beibringt, welche den Druck einer Atmosphäre übersteigt, und dann diesen Ueberschuß zu Zwecken der Mechanik verwendet.

Der Unterschied zwischen den beiden Arten von Maschinen läßt sich am einfachsten durch die in den Fig. 233 und 234 dargestellten Apparate zeigen.

Gesetzt der Kolben A (Fig. 233) enthalte etwas Wasser, das in's Kochen gebracht wurde, so entweichen dessen Dämpfe durch die Röhre und die Oeffnung o, und zugleich mit den Dämpfen geht auch die atmosphärische Luft fort. Hört man auf, A zu erhitzen, so kühlt sich der Dampf in demselben ab, condensirt sich, und wenn die Oeffnung o in ein Gefäß gesteckt ist, welches Wasser enthält, so dringt dieses in dem Rohre in die Höhe und füllt endlich A an. Das Resultat des

ganzen Vorgangs ist, daß Wasser in die Höhe gehoben und damit eine Arbeit geleistet wurde. Das, durch was das Wasser in die Höhe gehoben wurde, ist eine Differenz in dem von verschiedenen Seiten auf dasselbe ausgeübten Drucke, die dadurch hervorgebracht wird, daß man auf der einen Seite durch Dampfabkühlung einen luftverdünnten Raum erzielt, und ein Apparat, der auf diesem Principe beruht, ist eine Niederdruck=Dampfmaschine.



Fig. 233.

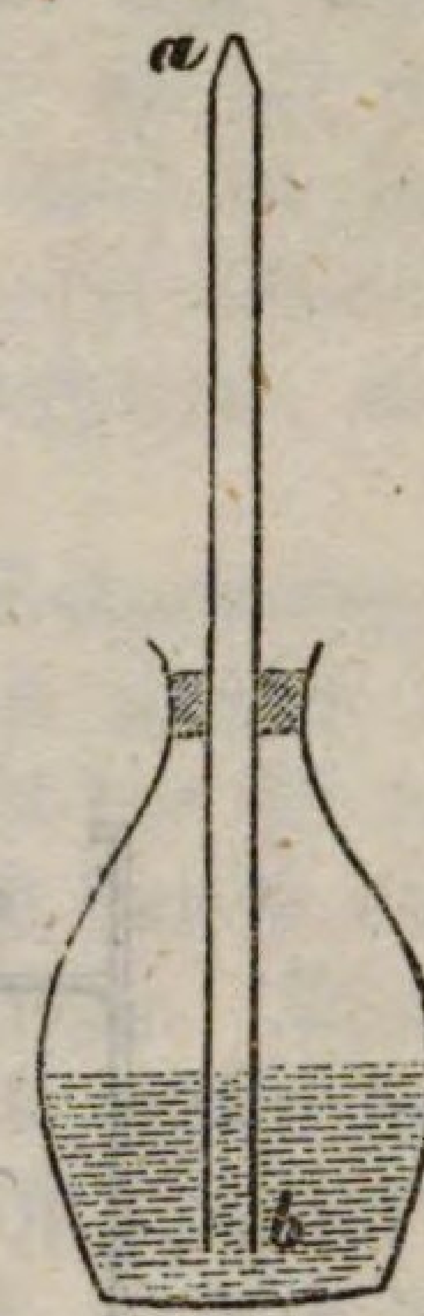


Fig. 234.

Hat man (Fig. 234) wieder ein Gefäß, in dem sich Wasser befindet, das zum Sieden gebracht wird, so werden sich die Dämpfe in dem oberhalb des Wassers befindlichen Raume ansammeln. Häuft sich mehr und mehr Dampf an, so wächst auch der auf die Wasseroberfläche ausgeübte Druck und das Wasser wird endlich durch die Oeffnung a hinausgepreßt. Auch hier wird also Wasser in die Höhe gehoben und somit eine Arbeit geleistet; aber das, von dem der Druck ausgeht, ist der Dampf, der hier sogar den Widerstand der Luft überwinden muß. Es muß aus diesem Grunde die Spannkraft des Dampfes größer sein als der Druck einer Atmosphäre und mithin auch die Wärme des Wassers die gewöhnliche Siedehitze überragen. Maschinen, welche auf dieser Wirkung beruhen, heißen Hochdruckmaschinen.

Uebergehen wir die früheren Versuche von Papin und Salomon de Caus, den Dampf dem Menschen nutzbar zu machen, und gehen wir sogleich auf diejenige Maschine über, welche von eigentlich practischem Interesse ist, so begegnet uns zuerst die Maschine von Newkomen, der den Dampf benützte, um Wasser aus den Bergwerken zu pumpen. In dieser Maschine wird der Dampf aus dem Kessel A (Fig. 235) in einen großen eisernen Cylinder B geleitet, dessen Deckel von einem verschiebbaren aber luftdicht schließenden Kolben c gebildet wird. Ist der Kolben durch den Dampf mit Beihülfe des Klotzes d bis an das obere Ende des Cylinders gebracht worden, so wird der Hahn a geschlossen, b geöffnet, es dringt nun etwas kaltes Wasser aus e in den Cylinder, der in diesem befindliche Dampf wird abgekühlt, und die atmosphärische Luft drückt den Kolben gegen den Boden herab. Mit dem Kolben ist ein Gestänge f verbunden, das an einer Pumpe zieht, und es wird daher durch dieses bei dem Niedergange des Kolbens das Wasser durch die Pumpe gehoben. Jetzt schließt man b, öffnet a und es dringt wieder der Dampf in den Cylinder, der Kolben hebt sich und gleichzeitig wird das durch

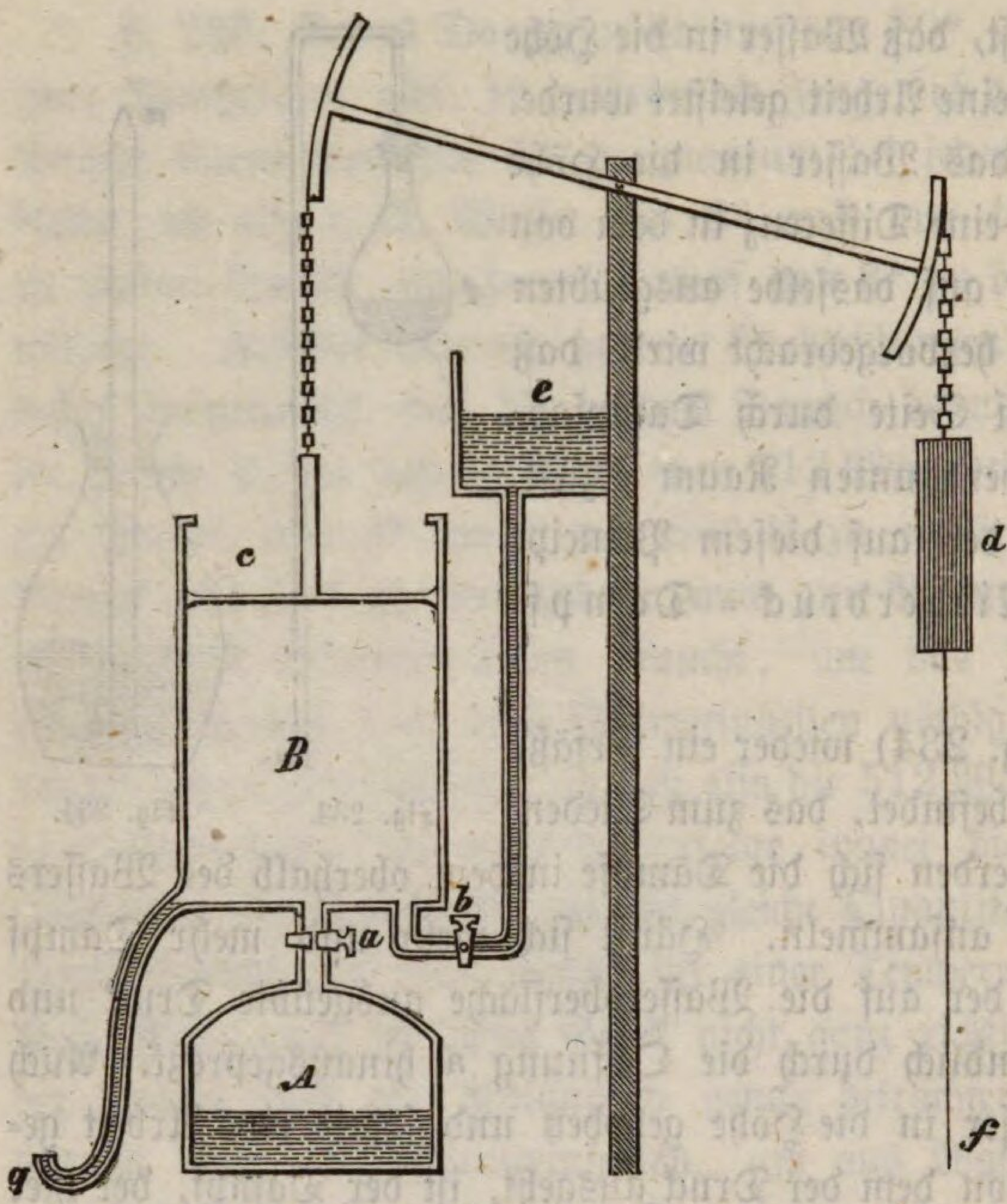


Fig. 235.

Oeffnen des Hahns b in den Cylinder gekommene Wasser durch das Rohr g entfernt, welches durch ein nach außen sich öffnendes Ventil abgesperrt ist.

Eine sehr wesentliche Verbesserung dieser Dampf-Maschine brachte Watt an, der überhaupt als der eigentliche Schöpfer des Ganzen zu betrachten ist. Durch das durch b eindringende kalte Wasser wird nicht nur der Dampf im Cylinder abgekühlt, wie es bezweckt wird, sondern auch der Cylinder selbst, was nicht nothwendig ist, weil man ihn bei dem nachfolgenden Eindringen des Dampfes wieder erwärmen muß. Auf diese Weise geht viele Wärme unnütz verloren und außerdem wird der Cylinder ruinirt, wenn er fortwährend dem raschen Temperaturwechsel ausgesetzt ist. Watt verbesserte die Maschine dadurch, daß er die Condensation des Dampfes in einem eigenen Behälter, dem Condensator vornahm. Fügt man zu dem Apparate Fig. 233 vermittelst eines zusammendrückbaren Rohres a noch einen zweiten Glaskolben B hinzu, wie dieses in Fig. 236 angegeben ist, so kann man das in diesem enthaltene Wasser zum Kochen bringen und die Luft in der vorerwähnten Weise verdrängen. Ist dieses geschehen, so wird die Communication zwischen beiden Glaskolben in a durch Zusammenpressen aufgehoben und man kann nun die Flasche A mit der zugehörigen Röhre als den Apparat Fig. 233 betrachten. Wird darauf B in kaltes Wasser gesteckt und die Verbindung zwischen beiden Flaschen hergestellt, so steigt das Wasser in der Röhre gerade so in die Höhe, als wenn beide Flaschen eben so stark abgekühlt worden wären, als es in der That A allein ist, denn an den Wandungen des letzteren kann nur Dampf von der seiner Temperatur entsprechenden Dichtigkeit sich halten und es folgt so lange

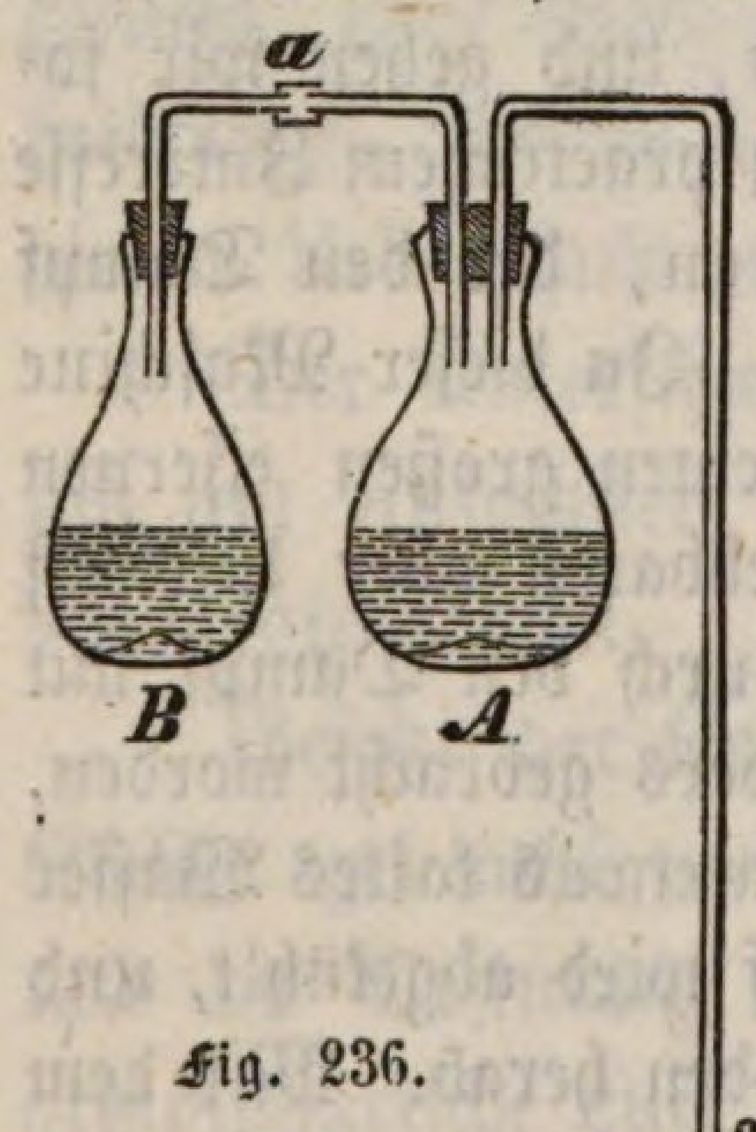


Fig. 236.

Condensation, bis dieser Punct erreicht ist, denn wenn auch in den andern Theilen des Raumes dichterer Dampf vorkommen könnte, wird er doch wegen seiner Elasticität immer wieder an die kalte Stelle hingeführt, wo bis zur angegebenen Gränze Condensation stattfindet. Läßt man die über 28 Zoll lange Röhre o in Quecksilber tauchen, so steigt dieses so weit in die Höhe als der Druckdifferenz im Innern von B und der äußern Luft entspricht, ohne daß A abgekühlt wird, worauf es hier zunächst ankommt.

Die zweite durch Watt eingeführte Verbesserung der Dampfmaschine ist die, daß er dieselbe doppeltwirkend machte. Betrachtet man nämlich die Newkomen'sche Maschine, so findet man leicht, daß ein Nutzeffect von ihr nur dann zu erwarten ist, wenn der Kolben abwärts geht, und selbst hier ist noch von seiner Wirkung abzuziehen, daß er den Klotz d mitheben muß. Watt ließ den Dampf bald auf der einen bald auf der andern Seite wirken und erlangte so einen Nutzeffect bei jeder Bewegung des Kolbens. Ist (Fig. 237) r ein Rohr, durch welches der Dampf aus dem Kessel kommt, so wird der Dampf nicht unmittelbar in den Cylinder geführt, sondern er gelangt zuerst in eine Art von Vorkammer dd, in welcher ein Schieber S mit Hülfe der Stange m so hin- und hergeschoben werden kann, daß er abwechselnd von der Stellung in Fig. 237 in die Stellung Fig. 238 und umgekehrt übergeht.

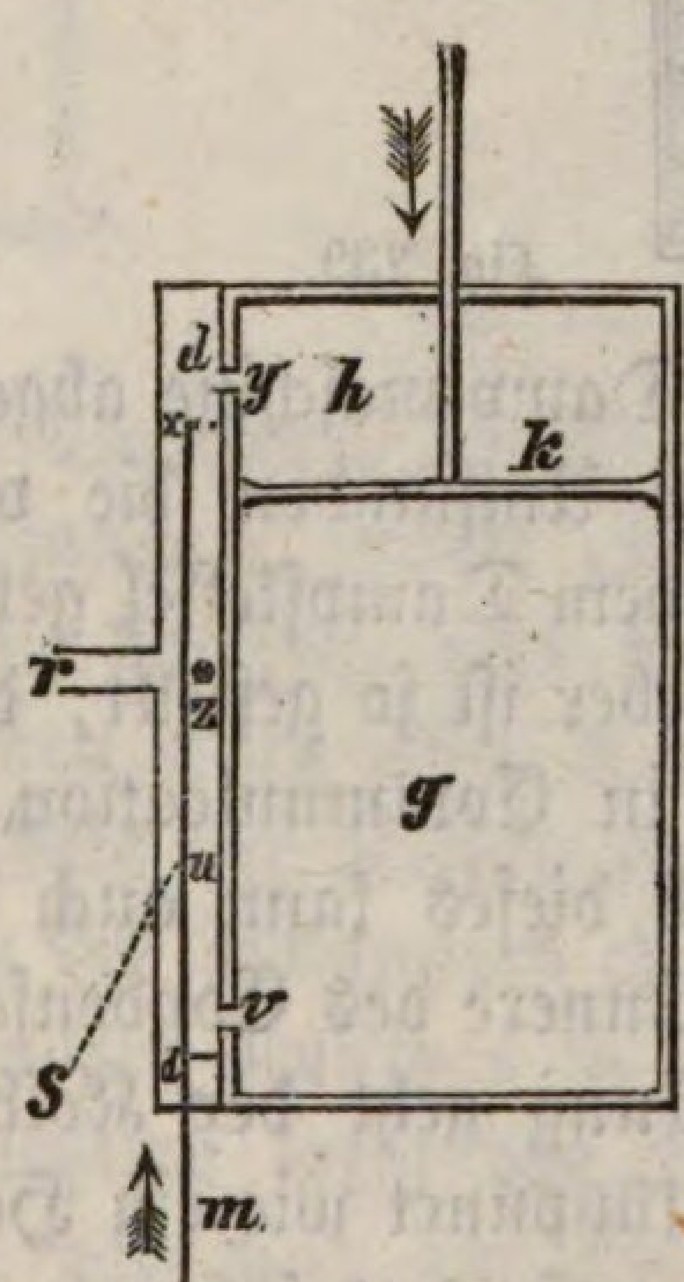


Fig. 237.

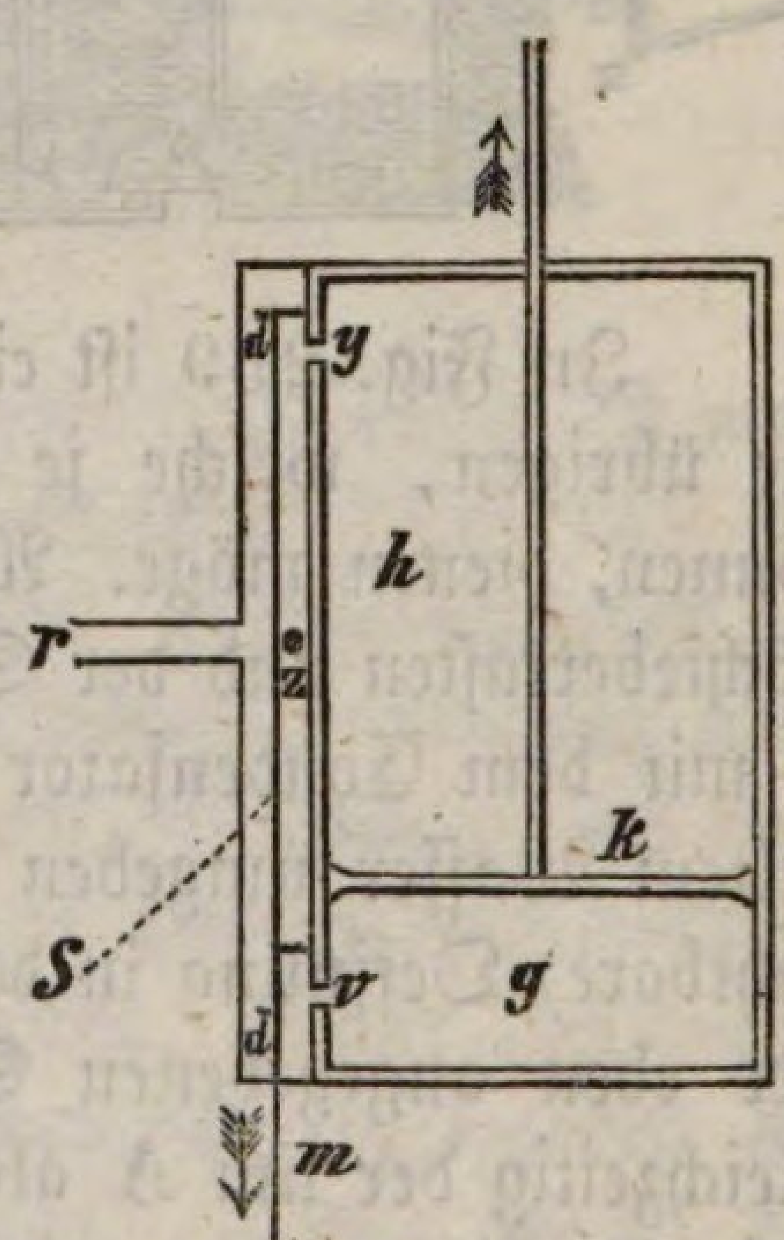


Fig. 238.

Bei der Stellung Fig. 237 geht der Dampf den Weg rxyh in den Cylinder und drückt den Kolben k mit der seiner Dichtigkeit entsprechenden Kraft, die beispielsweise einem Atmosphären-Drucke gleich sein mag, abwärts. Ist in dem Raume g des Cylinders Dampf von gleicher Spannkraft, so wird Gleichgewicht vorhanden sein; angenommen aber der Raum g sei auf dem Wege vuz in Verbindung mit einem (in der Figur weggelassenen) Raume, der durch kaltes Wasser kühl gehalten wird, dem Condensator, so findet dort Condensation des Dampfes g statt. Es wirkt also auf den Kolben von oben her der Dampf mit dem Drucke einer Atmosphäre, von unten hinauf drückt nur Dampf, der eine der Temperatur des Condensators entsprechende Spannkraft hat, und in Folge dessen geht der Kolben mit einer Kraft abwärts, die der Differenz der beiden Drucke gleich ist. Während der Kolben k allmählig abwärts geht, bewegt sich der Schieber S aufwärts und es kommt so zum Schlusse die Stellung der Fig. 238 zum Vorschein. Jetzt geht der Dampf aus r nach v und g in den untern Theil des Cylinders und drückt den Kolben aufwärts, während der oben befindliche Raum h durch y und z mit dem Condensator in Verbindung steht. Der Kolben geht also jetzt mit der nämlichen Kraft aufwärts, mit der er vorher abwärts ging.

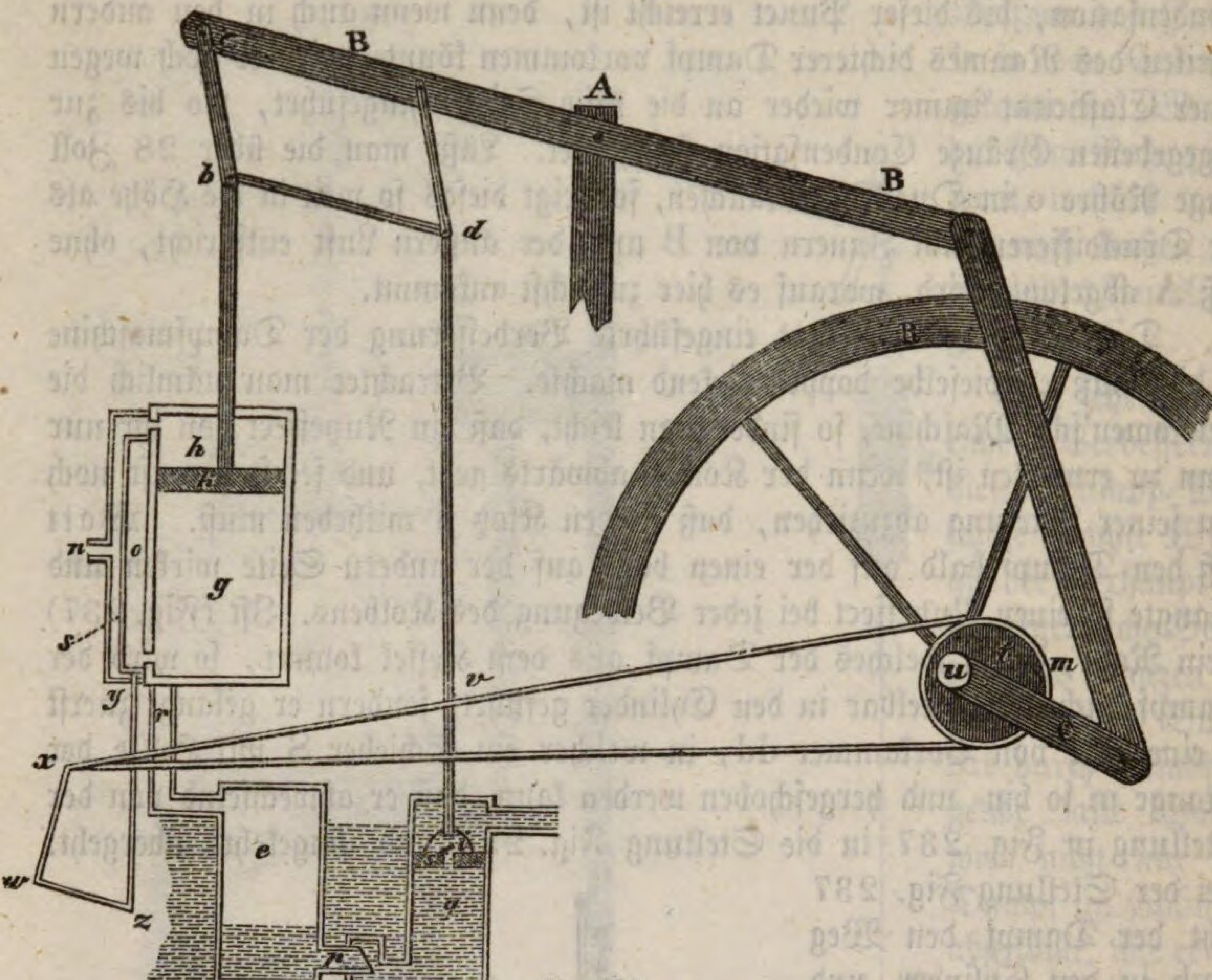


Fig. 239.

In Fig. 239 ist eine Dampfmaschine abgebildet, welche als Typus für die übrigen, welche je nach Umständen die verschiedensten Formen haben können, dienen möge. Aus dem Dampfkessel geht der Dampf durch n in den Schieberkasten und der Schieber ist so gestellt, daß der Raum g durch o und r mit dem Condensator e in Communication steht. Der letztere ist von kaltem Wasser umgeben und dieses kann auch durch eine (in der Figur nicht sichtbare) Oeffnung in das Innere des Condensators eingeführt werden. Bei der eben angegebenen Stellung geht der Kolben k abwärts und mit ihm gleichzeitig der um A als Stützpunct wie ein Hebel bewegliche Balancier BB. Die Verbindung der von k aufwärts führenden Stange mit dem Balancier ist jedoch nicht unmittelbar, sondern wird durch Zwischenschaltung des sogenannten Parallelogramms bcd bewerkstelligt, wodurch erzielt wird, daß die Kolbenstange senkrecht abwärts gehen kann. An d ist eine zweite Stange, welche den Kolben s abwechselnd hebt und (wie im gegenwärtigen Falle) herabdrückt. Bei dem Heben schließt sich das Ventil i, öffnet sich p und das durch Condensation der Dämpfe und Eingießen von kaltem Wasser in e zusammenkommende Wasser wird in den Raum q gebracht; bei dem Abwärtsgehen schließt sich p, öffnet sich i und das Wasser tritt in den Raum oberhalb s, von wo aus es bei dem nächsten Heben von s endlich entfernt wird. Es ist durch die Condensation des Dampfes warm geworden und wird theils zur Speisung des Dampfkessels, theils zu andern Zwecken benützt. Der sich bewegende Balancier BB treibt mit Hülfe der Kurbel C ein ziemlich schweres Rad R, das einmal in Bewegung gesetzt vermöge seiner Trägheit die Un=

gleichheiten in der Bewegung der Maschine ausgleicht und derselben namentlich über die Stelle weghilft, in welcher der Schieber die Mittelstellung zwischen den in den Fig. 237 und 238 angegebenen einnimmt und die beiden Oeffnungen v und y (der genannten Figuren) gleichzeitig verschließt, was bei jedem Aufgange und bei jedem Niedergange einmal geschehen muß. Die Bewegung des Schiebers wird durch Hülfe einer excentrischen Scheibe t vermittelt, deren Thätigkeit in den Fig. 240 und 241 angedeutet ist. Die Axe u des Schwungrades R ist fest verbunden mit der kreisförmigen Scheibe t, deren Mittelpunct jedoch nicht mit dem der Axe zusammenfällt und die von einem Ringe m umgeben ist, in dem sie sich herumdrehen kann. An dem Ringe ist das Gestänge v (Fig. 240 u. 241) befestigt, das mit dem um w drehbaren Winkelhebel xwz verbunden ist und an diesem hängt wieder die Stange y, welche zum Schieber S (Fig. 237 u. 238) führt. In der Stellung der Fig. 239 und 240 ist der Schieber so gerichtet, daß der Dampf in den obern Theil h des Cylinders eindringt und den Kolben abwärts drückt. Geht der Kolben abwärts, so zieht er die auf seiner Seite befindliche Stange des Balanciers ebenfalls abwärts und darum muß der entgegengesetzte Hebelarm desselben in die Höhe. Dieser Hebelarm wirkt auf die Kurbel C und letztere dreht das Schwungrad R, welches in derselben Weise thätig ist wie das Rad am Spinnrade. Dreht sich R, so dreht sich auch seine Axe u und mit ihm wird auch die excentrische Scheibe t bewegt, die nach und nach sich der Stellung Fig. 241 nähert und dieselbe wirklich erreicht, wenn das Schwungrad eine halbe Umdrehung gemacht hat, was eben so lange dauert, als bis der Kolben k im Cylinder unten angekommen ist. Die Scheibe t kann sich nicht drehen, ohne den Ring m mit sich fortzunehmen und geschieht dieses, so gelangt endlich der Endpunct x des Gestänges v (Fig. 240) nach x_1 (Fig. 241). Dadurch ist auch der Winkelhebel xwz in Bewegung gesetzt worden, der nun die Stellung x_1wz_1 eingenommen und bei seiner Bewegung die Stange y und den daran befindlichen Schieber S hinaufgeschoben hat. Ist S oben angekommen, so wirkt der Dampf auf die untere Seite des Kolbens k im Cylinder g, drückt ihn wieder in die Höhe, es kommt nach und nach wieder die Stellung Fig. 237 zum Vorschein u. s. w. Ist das Schwungrad R einmal in Bewegung gesetzt, so gleicht es die Verschiedenheiten in der Bewegung der Maschine aus, es consumirt dem

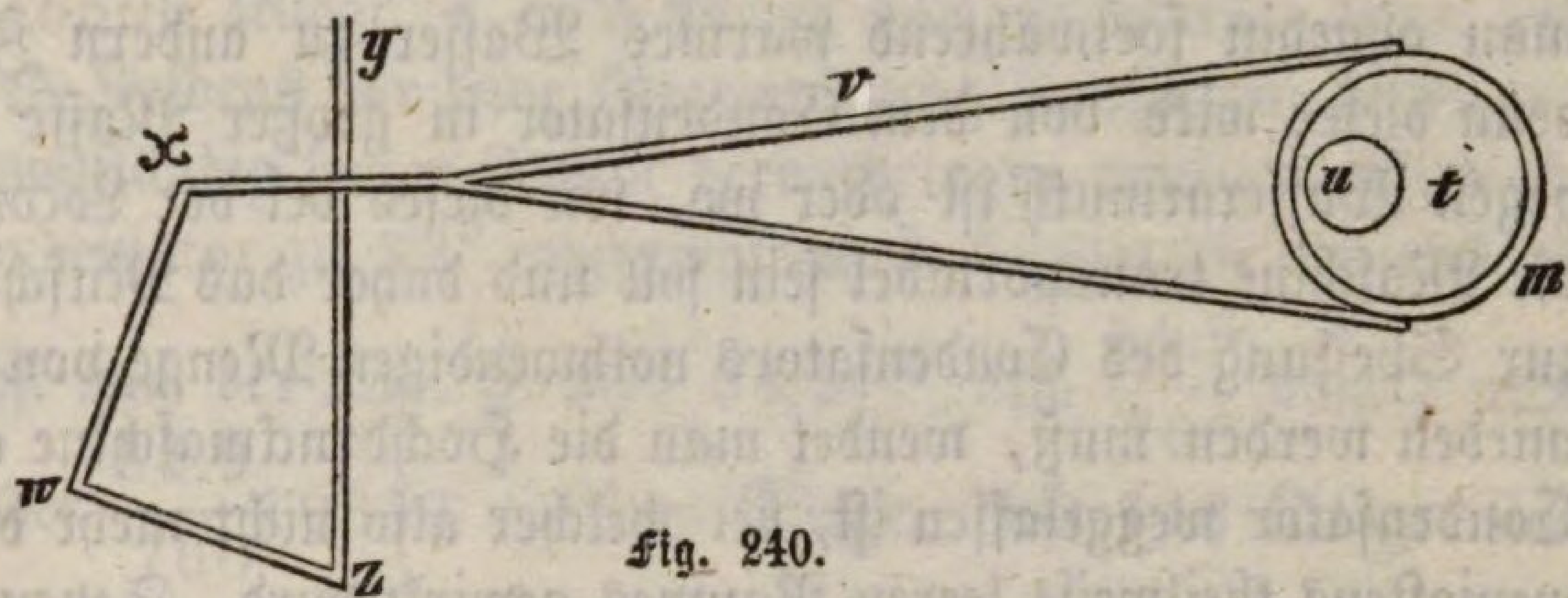


Fig. 240.

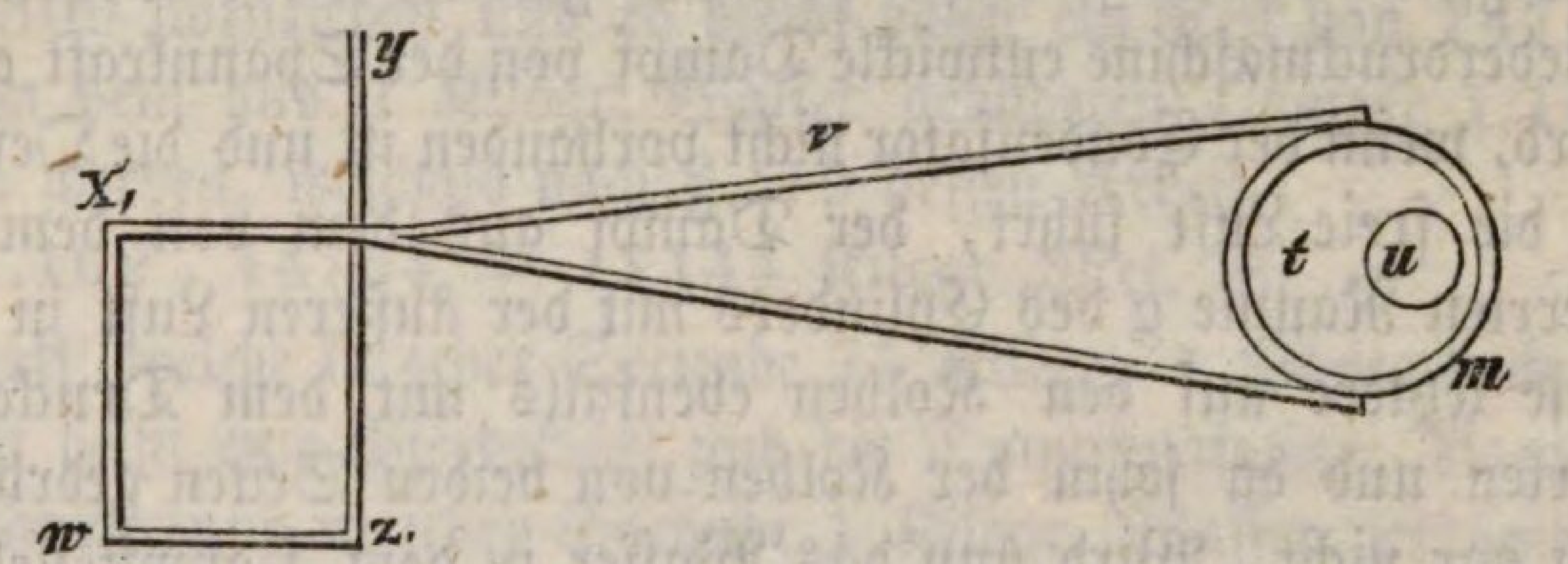


Fig. 241.

Gesetze der Trägheit zufolge außer dem was durch Reibung verloren geht keine weitere Kraft mehr, und die letztere, die fortwährend durch die Bewegung des Kolbens erzielt wird, kann nunmehr dem Zwecke der Maschine entsprechend verwendet werden.

Man benützt die Niederdruckmaschinen, deren Spannkraft im Allgemeinen nicht weit über einen Atmosphärendruck hinausgeht, vorzugsweise in Fabriken, wo man keinen Mangel an Wasser leidet und namentlich da, wo man ohnehin fortwährend warmes Wasser zu andern Zwecken nöthig hat, denn dieses wird von dem Condensator in großer Masse geliefert. Wo dagegen Wasserarmuth ist oder wo, wie dieses bei der Locomotive der Fall ist, die Maschine transportabel sein soll und daher das Mitschleppen einer großen zur Speisung des Condensators nothwendigen Menge von kaltem Wasser vermieden werden muß, wendet man die Hochdruckmaschine an, bei welcher der Condensator weggelassen ist, bei welcher also nicht mehr durch Bildung eines wenigstens theilweise leeren Raumes gewirkt wird. Setzen wir den Fall, eine Niederdruckmaschine entwickle Dampf von der Spannkraft einer Atmosphäre, so wird, wenn der Condensator nicht vorhanden ist und die Oeffnung o (Fig. 239) in die freie Luft führt, der Dampf aus dem von dem Dampfkessel abgesperrten Raume g des Cylinders mit der äußeren Luft in Verbindung stehen, diese letztere auf den Kolben ebenfalls mit dem Drucke einer Atmosphäre wirken und da sohin der Kolben von beiden Seiten gedrückt wird, bewegt er sich gar nicht. Wird nun das Wasser in dem Dampfkessel dadurch, daß man den Dampf zusammensperrt, auf mehr als 80 Grade erhitzt, so bekommt der Dampf nach der in §. 200 angegebenen Tafel nach und nach eine größere Spannkraft, und wenn man ihn nun auf den Kolben drücken läßt, so ist seine Wirkung auch größer als die einer Atmosphäre, der Kolben bewegt sich also mit einer Kraft, welche der Differenz der auf seine beiden Seiten ausgeübten Drucke gleich ist. Hat man z. B. in dem Dampfkessel Dampf von 4 Atmosphären Druck erzeugt, so drückt dieser auf die eine Seite des Kolbens. Der auf der entgegengesetzten Seite des letzteren befindliche Raum, derselbe, welcher in der Niederdruckmaschine mit dem Condensator in Verbindung steht, communicirt jetzt, da der Condensator weggelassen ist, mit der äußern Luft, die auf den Kolben den Druck einer Atmosphäre ausübt, und dieser bewegt sich also mit der Kraft von 3 Atmosphären. Die Hochdruckmaschine ist viel einfacher als die Niederdruckmaschine, denn in ihr fehlt der Condensator und alles was dazu gehört.

Die Wirkung einer Dampfmaschine wird aus der Menge des verdampfenden Wassers abgeleitet.

Angenommen, es werde in jeder Secunde ein Kilogramm Wasser in Dampf verwandelt, der einen Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmpsphären ausübt, so wird dieser Dampf der §. 200 angegebenen Tabelle zufolge die Dichtigkeit 0.00086 besitzen, d. h. der in einem gegebenen Raume befindliche Dampf würde in Wasser verwandelt 0.00086 des Raumes ausfüllen, den er in seiner gegenwärtigen Form einnimmt. Das gegebene Kilogramm Wasser hat als solches ein Volumen von 0.001 Cub.-Met., in Dampf verwandelt aber beträgt sein

Volumen $\frac{0.001}{0.00086} = 1.163$ Cub.-Met., es hat also eine Ausdehnung von $1.163 - 0.001 = 1.162$ Cub.-Met. erfahren. Vorausgesetzt, daß der Cylinder einen Querschnitt von 1 □Meter habe, wird der Kolben durch die Ausdehnung um 1.162 Meter gehoben, und da der Dampf einen Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären ausübt, der auf ein Quadratmeter ausgeübte Atmosphärendruck aber = 10333 Kilogramm ist, so wäre der Dampf im Stande $1\frac{1}{2} . 10333$ also 15500 Kilogr. 1.162 Meter hoch zu heben, wenn auf der andern Seite des Kolbens gar keine Gegenwirkuug stattfinden, wenn der Condensator einen vollständig leeren Raum hervorbringen würde. Wird die Temperatur im Condensator zu 32° angenommen, so beträgt die Spannkraft des Dampfes daselbst nach der Tab. §. 200 54.9mm, also $\frac{54.9}{760}$ vom Drucke einer Atmosphäre oder $\frac{54.9}{760} 10333 = 746$ Kilogr., diese 746 Kilogr. sind von den obigen 15500 abzuziehen und es bleibt daher ein Rest von 14754 Kilogr., welche von dem aus 1 Kilogr. Wasser gebildeten Dampfe 1.162 Meter hoch gehoben werden, weßhalb nach §. 79 dessen Arbeit

$$= 1.162 . 14754 = 17144 \text{ Kilogr. Met. ist.}$$

Diejenige Kraft, welche in jeder Secunde 75 Kilogr. 1 Meter hoch zu heben im Stande ist heißt eine Pferdekraft und die Dampfmaschine, die nach unserer obigen Voraussetzung in jeder Secunde 1 Kilogr. Wasser verdampft, also in jeder Secunde 17144 Kilogr. Met. Arbeit liefert, hat daher

$$\frac{17144}{75} = 228.6 \text{ Pferdekräfte.}$$

Bei den Hochdruckmaschinen wird die Rechnung in der gleichen Weise geführt; man zieht aber als Gegendruck statt der obigen Condensatorwirkung die Wirkung ab, die ein ganzer Atmosphärendruck auf den Querschnitt des Cylinders ausübt. In dem obigen Falle wäre also, da der Atmosphärendruck 10333 Kilogr. beträgt, diese Zahl an die Stelle von 746 zu setzen. Da der Rest hienach sehr klein ausfiele, ergibt sich die Nothwendigkeit, bei der Vereinfachung der Maschinen durch Weglassung des Condensators Dampf von höherer Spannkraft zu verwenden. Mit Weglassung des Condensators, wenn also die Maschine als Hochdruckmaschine construirt wäre, hätte man nur 6000 Kilogr. Met. = 45 Pferdekräften. Nehmen wir aber an, die Hochdruckmaschine arbeite mit Dampf von 8 Atmosphären Druck, so braucht man zu dessen Herstellung wieder 512 Wärmeeinheiten; weil aber dieser Dampf nach Tabelle 200 dichter ist als der weniger heiße, so hebt er den Kolben nicht 1.162 Meter, sondern nur $\frac{0.001}{0.00397} = 0.252$, wovon noch 0.001 als ursprüngliches Volumen des Wassers abzuziehen ist, also 0.251. Es wird also, da wir 8 Atmosphären Druck haben, bei dem früheren Querschnitte des Cylinders zu 1 □Meter eine Last von 8 mal 10333 Kilogr. 0.251 Meter hoch gehoben, und unter Berücksichtigung, daß wegen fehlenden Condensators 1 Atmosphärendruck = 10333 Kilogr. abzuziehen ist, bleiben

7 . 10333 . 0,251 = 18085 Kilogr. Met. = 241 Pferdekräften. Es ergibt sich daraus, daß die Hochdruckmaschinen bei Anwendung heißen Dampfes mit mehr Vortheil arbeiten, als bei Dampf von geringerer Temperatur.

Wie bereits §. 203 erwähnt, ist die Annahme, daß immer gleiche Menge von Wärme nöthig sei, um Wasser in gesättigten Dampf von beliebiger Temperatur zu bilden, nicht ganz richtig, denn man braucht zu heißerem Dampf etwas mehr Wärme, und es wäre daher von der Wirkung der Hochdruckmaschine noch etwas abzuziehen.

In der Praxis ist übrigens der wahre Nutzeffect einer Maschine nie so groß als es die Theorie angibt, denn durch Condensation des Dampfes in den Zuleitungsröhren, durch den schädlichen Raum des Schiebers, der immer wieder mit Dampf angefüllt werden muß, ehe sich der Kolben bewegt, durch die Reibung in den einzelnen Maschinentheilen geht viel von dem wahren Nutzeffect verloren und der Verlust beträgt selbst bei den besten Maschinen nicht unter 10 Procent.

Geht man von dem Satze aus, daß Wärmeeinheit diejenige Menge von Wärme sei, welche im Stande ist die Temperatur der Gewichtseinheit also hier 1 Kilogr. von Wasser um 1° zu erhöhen, so kann man auch die Arbeitsleistung der verschiedenen Maschinen in Bezug auf die von ihnen beanspruchte Wärme beurtheilen.

Bleiben wir bei der im Obigen erwähnten Niederdruckmaschine, in welcher Dampf von 1½ Atmosphärendruck verwendet wird, so hat dieser nach Tabelle §. 200 eine Temperatur von 89.°4 und es sind, wenn wir das §. 203 erwähnte Gesetz, daß bei jeder Temperatur zur Bildung von Dampf im Maximum der Spannkraft gleichviel Wärme nöthig sei, als richtig annehmen und wenn wir voraussetzen, daß das verwendete Wasser ursprünglich 0° warm gewesen sei, um den Dampf zu bekommen 512 Wärmeeinheiten nöthig, wovon 89.4 auf die Erwärmung des Wassers, der Rest zur Aggregatzustandänderung verwendet werden. Diese 512 Wärmeeinheiten leisten eine Arbeit von 17144 Kil. Met. oder von 229 Pferdekräften.

Unter der Annahme, daß die Steinkohle bei dem Verbrennen etwa 5600 Wärmeeinheiten entwickelt, läßt sich auch berechnen, wie viel man zu dieser oder jener Maschine an Brennmaterial nöthig hat; doch ist zu bemerken, daß auch hier Verluste an Wärme durch Mittheilung an den Ofen u. s. w. stattfinden, welche verhältnißmäßig um so größer sind, je kleiner die Maschine ist. Bei großen Maschinen gehen etwa 10 Procente verloren, bei kleinen kann sich der Verlust bis auf 30 steigern. Bei Maschinen von 100 und mehr Pferdekräften rechnet man im Durchschnitte 2—2½ Kilogr., bei solchen von 2—10 Pferdekräften dagegen 5—7 Kilogr. Steinkohlen in der Stunde auf die Pferdekraft.

§. 205. Wenn ein bestimmtes Quantum von Wärme im Stande ist, die Temperatur der Gewichtseinheit von Wasser, etwa eines Kilogrammes um 1° zu erhöhen, so bleibt die Frage zu beantworten, ob die Temperaturänderung, welche dieselbe Wärme in der gleichen Menge

eines andern Körpers hervorbringt, die nämliche sei wie bei dem Wasser oder nicht, und der Versuch beantwortet diese Frage dahin, daß in der erzielten Temperaturänderung ein sehr bedeutender Unterschied sei, je nachdem man dieselbe Menge von Wärme dem einen oder dem andern Körper zukommen läßt. Bringt man z. B. in eine bestimmte Quantität warmen Wassers eine eben so große Menge kalten, so ist die Temperatur, welche die Mischung beider bekommt, dem arithmetischen Mittel der beiden ursprünglichen Temperaturen gleich, während wenn man das eine, etwa das wärmere Wasser, durch die gleiche Menge ebenso warmen Quecksilbers ersetzt, die erzielte Wärme der des kälteren Wassers viel näher steht, als der des Quecksilbers. Das warme Quecksilber ist daher nicht im Stande, das kalte Wasser so weit zu erwärmen als das warme Wasser es thut, es erleidet bei der Mischung eine viel größere Aenderung seiner Temperatur und richtet doch nicht so viel aus, und man schließt daraus, daß weniger Wärme dazu gehört, um die Temperatur des Quecksilbers um ein Gleiches zu ändern, als dieses bei dem Wasser der Fall ist.

Vergleicht man diejenige Menge von Wärme, welche nöthig ist, um Wasser um 1° zu erwärmen mit derjenigen, welche man für das gleiche Gewicht eines andern Körpers braucht, so erhält man durch Division der letzteren Menge durch die erstere einen Quotienten, welcher die **specifische Wärme** des Körpers angibt. Das Wasser dient in Beziehung auf die specifische Wärme ebenso als Einheit, wie dieses bei dem specifischen Gewichte der Fall ist. Die Bestimmung der in einem Körper befindlichen Quantität von Wärme hat einige Aehnlichkeit mit der Berechnung des Rauminhaltes eines parallelepipedischen Gegenstandes. Man erhält dieses Volumen bekanntlich dadurch, daß man Länge, Breite und Höhe desselben multiplicirt, und ebenso erhält man die Quantität der in einem Körper enthaltenen Wärme durch Multiplication der 3 Factoren: Temperatur, Masse und specifische Wärme.

Man findet die specifische Wärme eines Körpers, indem man ihn mit Wasser zusammenbringt und dann die Wirkung prüft, welche er in Beziehung auf die Temperaturänderung hervorgebracht hat. Sind Temperatur, Masse und specifische Wärme des Körpers und des Wassers beziehungsweise ausgedrückt durch T, M, C, t, m und c, so gibt das Product TMC die Wärmequantität des Körpers, das Product tmc die des Wassers. Mischt man beide Körper mit einander, wirft man etwa den einen in den andern, so wird der wärmere Gegenstand abgekühlt, der kältere erwärmt, es wird am Schlusse dieses Vorganges für beide Stoffe die gleiche Temperatur x vorhanden sein

und die Wärmequantität, die sich in jedem derselben befindet, ist nun xMC und xmc; wenn aber, wie vorausgesetzt wird, weder durch chemische Wirkung noch durch Aenderung des Aggregatzustandes eine Vermehrung oder Verminderung der vorhandenen freien Wärme vorgekommen ist, so kann man annehmen, daß deren Quantität durch die Mischung beider Stoffe nicht geändert worden sei, wodurch sich ergibt $TMC + tmc = x(MC + mc)$ und aus dieser Gleichung läßt sich $C = \frac{mc(x - t)}{M(T - x)}$ leicht ableiten, da c die specifische Wärme des Wassers = 1 gesetzt ist.

Selbstverständlich muß die Mischung der beiden Stoffe in einem Gefäße vorgenommen werden und da dieses bei der Mischung seine Temperatur ebenfalls ändert und je nach Umständen an seinen Inhalt Wärme abgibt oder davon nimmt, so ist es nothwendig, auch seine Wirkung zu berücksichtigen, was dadurch geschieht, daß man seine specifische Wärme durch einen vorläufigen Versuch bestimmt und dann seinen Einfluß in Rechnung zieht.

Nach Regnault, der die specifische Wärme vieler Körper nach der vorstehenden Methode bestimmte, ist dieselbe für einige der letzteren in nachstehender Tabelle angegeben:

Wasser	1.000	Blei	0.0314	Quecksilber	0.0333
Eisen	0.1138	Zinn	0.0562	Glas	0.1799
Kupfer	0.0952	Gold	0.0324	Kochsalz	0.2260
Silber	0.0570	Schwefel	0.2026	Eis	0 513

Man sieht hieraus, daß die specifische Wärme sehr bedeutend wechseln kann und daß sie bei dem Wasser den höchsten Werth hat, was auch für die übrigen nicht in der Tabelle angeführten tropfbarflüssigen und festen Körper der Fall ist.

Eine sehr interessante Eigenthümlichkeit der specifischen Wärme haben Dulong und Petit gefunden; es ist dieselbe nämlich in einem gewissen Zusammenhange mit dem Atomgewichte, da es verschiedene Gruppen von Körpern gibt, bei denen nahezu die gleiche Zahl zum Vorschein kommt, wenn man das Atomgewicht mit der specifischen Wärme multiplicirt. So findet man

	Specifische Wärme	Atomgewicht	Product
Schwefel	0.2026	16	3.24
Eisen	0 1138	28	3.19
Zinn	0.0562	58	3.26
Platin	0.0324	98.7	3.20
Blei	0.0314	103.7	3.26

Nach den Begriffen der heutigen Chemie besteht ein jeder einfache Körper aus einer großen Anzahl von nicht ferner theilbaren Atomen, von denen jedes einzelne des nämlichen chemischen Stoffes genau das gleiche Gewicht hat. Nennt man nun das Verhältniß, in dem die Gewichte dieser einzelnen Atome der verschiedenen Körper zu einander stehen, ihr Atomgewicht, so muß ein Körper von bestimmtem Gesammtgewichte um so weniger Atome enthalten, als jedes einzelne derselben wiegt. Es ist also die Zahl der Atome in ver-

schiedenen Körpern von gleichem Gewichte dem Atomgewichte umgekehrt proportional und darum muß das Product aus Atomgewicht und Atomzahl bei ihnen gleich sein, und wenn das Product aus Atomgewicht und specifischer Wärme auch gleich ist, so ergibt sich, daß die letztere der Zahl der Atome proportional sei. Es verhält sich also bei Anwendung von gleich schweren Stücken von Zinn und Blei die Zahl der Zinnatome zu der Zahl der Bleiatome wie 0.0562 zu 0.0314, d. h. auf je 562 Zinnatome kommen 314 Bleiatome, und es folgt daraus, daß jedes Atom, sei es Zinn oder Blei gleich viel Wärme braucht, um seine Temperatur um 1^0 zu erhöhen, und daß ein Körper dann eine verhältnißmäßig geringe specifische Wärme habe, wenn er auch verhältnißmäßig wenig Atome enthält. So viel sich bis jetzt angeben läßt, ist dieser Satz wohl annähernd, doch nicht vollständig richtig, da nicht alle Körper durch Multiplication von Atomgewicht und specifischer Wärme dasselbe Product geben und weil die letztere bei höheren Temperaturen wächst, was bei dem Atomgewichte nicht stattfindet.

Setzt man die specifische Wärme des Wassers bei 0^0 = 1.000, so ist sie bei

16^0 R = 1.0012		64^0 R = 1.0089
32 = 1.0030		80 = 1.0130
48 = 1.0056		

Bei dem Platin ist die spec. Wärme von

0^0 bis 80^0 R = 0.03350	0^0 bis 800^0 R = 0.03728
0 „ 240 = 0.03434	0 „ 1200 = 0.03938
0 „ 400 = 0.03518	

Weil die specifische Wärme des Wassers als Maaßstab für die der andern Körper angenommen wird, aber dieser Maaßstab selbst veränderlich ist, so muß bei genauen Versuchen auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden, bei solchen Versuchen dagegen, welche nicht über die dritte Decimale hinaus genau sein sollen, betrachtet man die specifische Wärme des Wassers zwischen 0^0 und 16^0 als constant.

Die Kenntniß der specifischen Wärme des Platins dient zur wenigstens annähernden Messung hoher Temperaturen, da man nur ein heißes Platinstück von bekanntem Gewichte in Wasser zu werfen braucht, um nach der oben angegebenen Gleichung seine Temperatur zu berechnen. Es wird nämlich, wenn T diese Temperatur bedeutet $T = \frac{x(MC + mc) - tmc}{MC}$.

§. 206. Bei den Gasen läßt sich die specifische Wärme der oben erwähnten Mischungsmethode analog dadurch finden, daß man Gas von bestimmter Temperatur in schneckenförmig gebogenen Röhren durch Wasser gehen läßt und dann die Temperaturänderung von Gas und Wasser untersucht.

Die specifische Wärme der Gase läßt sich von zwei verschiedenen Gesichtspuncten betrachten. Man kann ein bestimmtes Volumen von Gas, das sich nicht ausdehnen kann, um 1^0 erwärmen und die Menge

der Wärme, welche hiezu nöthig ist, gibt durch Vergleichung mit derjenigen Quantität, die man für das gleiche Gewicht Wasser nöthig gehabt hätte, die specifische Wärme bei constantem Volumen. Da die Luftarten bei unverändertem Drucke sich durch die Erwärmung ausdehnen, so muß, wenn ein Gas nach der Erwärmung sein ursprüngliches Volumen behält, nothwendig auch seine Spannkraft eine größere werden; das Bestreben der einzelnen Gastheilchen, sich von einander zu entfernen, würde auch einem Drucke, der stärker ist als der ursprüngliche, das Gleichgewicht halten. Gestattet man dem sich erwärmenden Gase, sich gleichzeitig auch so weit auszudehnen, als es durch die bei der Temperaturerhöhung vermehrte Spannkraft bei gleichem äußeren Drucke veranlaßt wird, so erhalten wir die specifische Wärme bei constantem Drucke und diese ist von der vorigen verschieden, sie verhält sich bei sämmtlichen Luftarten zu ihr wie 1.41 zu 1. Die Arbeit, welche die Wärme im Gase zu verrichten hat, ist mithin eine doppelte, es wird die fühlbare, auf das Thermometer wirkende Temperatur erhöht, es wird das Volumen vergrößert und nach §. 196 nimmt das Volumen der Gase bei einer Temperaturerhöhung von 1^0 R um 0.00458 (1^0 C um 0.003665) zu. Braucht beispielsweise ein Gas die Wärmemenge 1, um seine Temperatur um 1^0 zu erhöhen, so bedarf es noch die Wärme 0.41, um sein Volumen um 0.00458 $= \frac{1}{218}$ zu vergrößern. Wenn man diese Luft durch verstärkten Druck auf ihr ursprüngliches Volumen zurückführt, so wird sie die Wärmemenge 0.41, die sie für Volumvergrößerung empfangen hat, wieder hergeben oder dieselbe zu einer weiteren Temperaturerhöhung benützen. Es wird daher jedesmal Wärme frei, wenn man Luft comprimirt, und in der That kann man, wie dieses in dem pneumatischen Feuerzeuge geschieht, die Luft durch plötzliches Zusammendrücken bis zum Glühen erhitzen.

Einige Beispiele über die specifische Wärme der Gase bei constantem Drucke gibt nach Regnault nachstehende Tabelle:

Sauerstoff	0.2182	Atmosphärische Luft	0.2377
Stickstoff	0.2440	Kohlensäure	0.2164
Wasserstoff	3.4046	Oelbildendes Gas	0.3694
Chlor	0.1214	Wasserdampf	0.4750

Bei der Absorption von Gasen durch feste oder flüssige Körper findet eine Volumverminderung statt, denn nach der Aufsaugung des Gases ist der von beiden eingenommene Raum kleiner als vorher, und es ist daher eine Temperaturerhöhung die Folge. Manche Körper, wie z. B. Platinschwamm, poröse Kohlen können dadurch bis zum Glühen erhitzt werden.

§. 207. Wenn Luft durch Comprimiren, also durch Verminderung des Volumens warm wird, so folgt daraus, daß sie sich durch Raumvergrößerung abkühlen muß; doch findet dieses nicht unter allen Umständen statt. Läßt man z. B. Luft, die sich in einem Behälter befindet und also unter einem bestimmten Drucke einen gewissen Raum erfüllt, dadurch, daß man den Behälter mit einem andern, welcher luftleer ist, in Verbindung setzt, sich auch über diesen ausdehnen, so beobachtet man keine Verminderung der Wärme. Gesetzt, der erste Behälter fasse genau 1 Cub. Met. und sei mit Luft von 760^{mm} also 1 Atmosphärendruck erfüllt, so wiegt diese 1.293 Kilogr. und braucht, um bei constantem Volumen um 1^{0} erwärmt zu werden

$$1.293 \times \frac{0.2377}{1.41} = 0.218 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Läßt man diese Luft nun in einen luftleeren Raum strömen, dessen Volumen eben so viel beträgt als die Ausdehnung, welche die Luft bei einer Temperaturerhöhung von 1^{0} beträgt, so wird darum die Temperatur nicht geändert und man hat also die 1.293 Kilogr. Luft mit derselben Wärme zugleich erwärmt und ausgedehnt, welche unter gewöhnlichen Umständen zur Erwärmung allein, also ohne Ausdehnung hingereicht hätte. Nimmt man nun an, die mit 0.218 Wärmeeinheiten versehene Luft finde den leeren Raum nicht schon vor, sondern müsse ihn erst selbst machen, wie das der Fall wäre, wenn sie etwa einen Kolben vor sich herzuschieben hätte, hinter dem die atmosphärische Luft drückt, so würde man unter Anwendung von nicht mehr als 0.218 Wärmeeinheiten den doppelten Zweck der Erwärmung und Ausdehnung nicht mehr erreichen, hier müßte man 1.293 × 0.2377 also 0.307 Wärmeeinheiten anwenden. Hat der Kolben eine Fläche von 1 □Meter, so ist er dem hinter ihm wirkenden Drucke von 1 Atmosphäre zum Trotze um 0.00458 Meter gehoben worden, die Luft hat bei ihrer Ausdehnung eine Arbeit von 0.00458 × 10333 = 47.34 Kilogr. Met. verrichtet, und dazu ist die Differenz von 0.307 — 0.218 = 0.089 Wärmeeinheiten verwendet worden. Wenn nun 0.089 Wärmeeinheiten eine Arbeit von 47.34 Kilogr. Met. leisten, so ist die von einer ganzen Wärmeeinheit verrichtete Wärme $= \frac{47.34}{0.089} =$ 533 Kilogr. Met. (bei Anwendung von Celsiusgraden 426 Kilogr. Met.), und diese Größe wird das Arbeitsäquivalent der Wärme genannt.

Es kann, wo Wärme ist, diese durch irgend eine Veranlassung verschwinden, sie geht aber dabei nicht verloren, sondern tritt nur in anderer Weise, als Bewegung auf, und umgekehrt kann wenn da oder dort Bewegung verloren geht, dieselbe als Wärme wieder zum Vorschein kommen. Seit den Tagen der Schöpfung ist die Welt mit einem bestimmten Kapitale von materieller Substanz und von bewegender Kraft ausgestattet, und dieser ursprüngliche Schatz ist auch heute noch vorhanden; aber wie die Materie bald da bald dort sich befinden kann, so ist auch die Vertheilung der bewegenden Kraft dem manchfaltigsten Wechsel unterworfen. Es wurde bereits bei der Statik und Dynamik wiederholt darauf hingewiesen, daß wir niemals einen Gewinn von bewegender Kraft bekommen können; es gibt aber auch keinen Verlust, denn das, was für uns durch Reibung u. s. w. scheinbar verloren geht, das kommt als Wärme wieder zum Vorschein, und wenn man eine bewegende Kraft von 533 Kilogr. Met. vollständig dazu verwendet, um Reibung zu bewerkstelligen, so kommt dabei wieder eine Wärmeeinheit zum Vorschein. Die Verluste an bewegender Kraft, die wir an unsern Maschinen durch die Reibung erleiden, sind nicht für das All vorhanden, sondern nur für uns, die wir mit der nebenbei erzeugten Wärme, den Schallbewegungen u. s. w. nichts anzufangen wissen. In dem oben erwähnten Falle, wo man dadurch, daß man Luft in einen luftleeren Raum einströmen läßt, diese gleichzeitig erwärmt und ausdehnt, ist gegen die gewöhnlichen Verhältnisse ein Gewinn von 0.089 Wärmeeinheiten; allein dieser Gewinn ist nur ein scheinbarer, denn soll die Luft in einen luftleeren Raum einströmen können, so muß dieser erst hergestellt werden, und dazu ist wieder so viel Arbeit nöthig, als nach Abzug aller scheinbaren Verluste hinreicht, um 0.089 Wärmeeinheiten hervorzubringen.

Die Umwandlung von Wärme in bewegende Kraft bei den Dampfmaschinen hat zu Prüfungen aufgefordert, welche dahin gehen, die Frage zu beantworten, wie nahe diese Apparate dem Ideale kommen, welchem zufolge für jede consumirte Wärmeeinheit eine Arbeit von 533 Kilogr. Met. geliefert werden soll.

Nach §. 204 verzehren große Dampfmaschinen, bei welchen die Nebenverluste möglichst gering sind, stündlich 2 Kilogr. Steinkohlen für jede Pferdekraft, und da diese = 75 Kilogr. Met. in der Secunde oder

$$= 75 \times 3600 = 270000 \text{ Kilogr. Met. in einer Stunde}$$

ist, und die 2 Kilogramme Steinkohlen bei dem Verbrennen zusammen 11200 Wärmeeinheiten geben, so liefert jede Wärmeeinheit $\frac{270000}{11200} = 24.1$

Kilogr. Met. Arbeit. Weil sie nun im Ideale 533 liefern sollte, leisten die Dampfmaschinen nicht den 20ten Theil von diesem Ideale. Die Ursache dieses großen Unterschiedes ist darin zu suchen, daß der größte Theil der in der Dampfmaschine verwendeten Wärme dazu gebraucht wird, um den Aggregatverband der Wassermolecüle aufzuheben und die tropfbare Flüssigkeit in eine Luft umzuwandeln. Neben dieser sogenannten inneren Arbeit bleibt für die Ausdehnung, die äußere Arbeit, nur ein kleiner Rest übrig, und nur diesem haben wir die bewegende Kraft unserer Dampfmaschinen zu verdanken. Die Wärme geht zwar nicht verloren, sie kommt dadurch wieder zum Vorschein, daß bei der Abkühlung des Dampfes im Condensator eine Menge warmes Wasser geliefert wird, aber man erleidet so lange Verlust, als man etwas, was man nicht sucht, auf Kosten dessen bekommt, was man haben will. Bei der Dampfmaschine will man bewegende Kraft und an deren Stelle bekommt man zum weitaus größten Theile warmes Wasser.

Die Verschwendung von Wärme, die bei Anwendung von Dampfmaschinen unvermeidlich ist, hat zu den manchfaltigen Versuchen Veranlassung gegeben, das Wasser durch andere Flüssigkeiten zu ersetzen, bei welchen, da sie weniger Wärme latent werden lassen, zur inneren Arbeit weniger verbraucht wird, wie z. B. Aether; der Aether ist jedoch bei den nicht zu vermeidenden Verlusten, die man durch Verdunstung daran erleidet, zu theuer. Außerdem hat man Gase oder überhitzte Dämpfe in Anwendung gebracht, denn bei diesen hat man keine innere Arbeit mehr; aber bei diesen werden die Apparate zu groß, da die Volumänderung bei dem Erhitzen verhältnißmäßig viel kleiner ist als die, welche das Wasser erfährt, wenn man es in Dampf übergehen läßt. Bei Anwendung höherer Hitzgrade und starker Compression der Luft wäre übrigens hier ein günstiges Resultat zu erwarten; aber es fehlt an einem Mittel den Cylinder da, wo die Kolbenstange durchgeführt wird, dicht zu verschließen, da das Oel, welches bei unsern Maschinen in den sogenannten Stopfbüchsen diesen Dienst versieht, sich bei höheren Temperaturen zersetzt, also nicht mehr gebraucht werden kann.

§. 208. Die Wärme kann von dem einen Körper auf den andern in einer Art und Weise übergehen, welche wegen ihrer auffallenden Aehnlichkeit mit der Fortpflanzung des Lichtes die Strahlung heißt. Wie ein leuchtender Körper nach allen Seiten Licht aussendet, das sich strahlenförmig fortbewegt, so thut es auch ein warmer Körper, er sendet allenthalben hin Wärmestrahlen aus, und deren Verhalten regelt sich nach den Gesetzen, welche auch die Lichtstrahlen befolgen: wir haben Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz und Polarisation der Wärmestrahlen und es ist daher im Nachstehenden nur nöthig, einige Besonderheiten derselben zu besprechen.

Man benützt zur Untersuchung dieser Erscheinungen entweder Differentialthermometer (§. 191) oder bei feineren Versuchen die soge-

nannte thermoelectrische Säule des Melloni'schen Apparates, welche jedoch erst später näher besprochen werden kann. Man erhält bei ihr durch Erwärmung der Löthstellen ungleicher Metalle einen electrischen Strom, der seinerseits wieder die Ablenkung einer Magnetnadel bewirkt, welche auf die Intensität der Wärme schließen läßt.

Man überzeugt sich sehr leicht von der Existenz der Wärmestrahlen durch das Verhalten der Strahlen der Sonne, in welchen sich Licht- und Wärmestrahlen durcheinander befinden. Wo man die Lichtstrahlen wahrnimmt, da fühlt man die Wärmestrahlen mit. Auch der geheizte Ofen sendet Wärmestrahlen aus, vor denen man sich durch den Ofenschirm schützt, und die man dann überall da nicht wahrnimmt, wohin der Schatten des Schirmes fallen würde, wenn der Ofen ein leuchtender Körper wäre.

§. 209. Jeder Körper ist warm, und es besteht nur ein Unterschied in der Intensität der Wärme. Jeder Körper strahlt auch Wärme aus, ist also den Selbstleuchtern analog, aber bei gleicher Temperatur ist die Menge der ausgesendeten Wärmestrahlen bei den einzelnen Körpern verschieden, diese haben daher ein verschiedenes Emissionsvermögen. Im Allgemeinen strahlen rauhe Körper mehr Wärme aus als glatte, dunkle mehr als weiße, die Metalle haben im Ganzen ein geringes Ausstrahlungsvermögen.

Nach den Versuchen Melloni's läßt sich das Ausstrahlungsvermögen einiger Körper durch die nachfolgenden Zahlen ausdrücken, wenn das des Kienrußes gleich 100 gesetzt wird. Kienruß 100, Bleiweiß 100, Schreibpapier 98, Glas 20, Quecksilber 20, polirtes Eisen 15, Zinn, Kupfer und Gold 12, Silber gewalzt 3, chemisch auf Kupfer niedergeschlagen 5.37. Diese Zahlen gelten für Temperaturen zwischen 0° und 100°, und ändern sich bei höheren Wärmegraden etwas.

§. 210. Weil alle Körper Wärmestrahlen aussenden, so werden sie auch von solchen getroffen, die von andern Gegenständen herkommen, und diese Strahlen werden entweder absorbirt und zur Erhöhung der Temperatur benützt, oder sie werden reflectirt oder auch zerstreut.

Das Quantum der absorbirten Strahlen ist bei den einzelnen Körpern verschieden, denn das Absorptionsvermögen derselben ist dem Emissionsvermögen ziemlich gleich, wechselt jedoch auch.

Melloni fand, daß von 100 auffallenden und von verschiedenen Wärmequellen herkommenden Strahlen absorbirt wurden bei Anwendung von

	Platin glühend	Kupfer von 400° C	Kupfer von 100° C
Kienruß	100	100	100
Bleiweiß	56	89	100
Tusche	95	87	85
Blankes Metall	13.5	13	13

§. 211. Die Reflexion der Wärme kann man sehr leicht wahrnehmen, wenn man zwei Hohlspiegel einander genau gegenüber aufstellt und in dem Brennpuncte des einen eine glühende Kohle, in dem des andern einen Feuerschwamm anbringt. Nach §. 135 werden diejenigen Strahlen, welche von dem Brennpuncte eines Hohlspiegels ausgehen und auf letzteren fallen, von diesem so reflectirt, daß sie nach der Reflexion unter einander parallel sich von dem Spiegel entfernen; fallen aber parallele Strahlen auf einen Hohlspiegel, so vereinigen sie sich in dessen Brennpuncte. Wenn sich nun die glühende Kohle im Brennpuncte F (Fig. 242) des einen Spiegels A befindet, so fallen die reflectirten Strahlen auf den Spiegel parallel ein, vereinigen sich nach abermaliger Reflexion in F_1 und entzünden dort den Schwamm, was sonst an keiner Stelle geschieht, wenn sie auch der Wärmequelle viel näher liegt. Ersetzt man die Kohle durch ein Stück Eis, den Schwamm durch ein Thermometer, so zeigt sich alsbald durch das Fallen des letzteren, daß auch das Eis Strahlen aussendet, deren Wärme jedoch eine viel geringere ist. Wegen der Symmetrie des Apparates und der Allgemeinheit der Wärmestrahlung sendet nämlich nicht nur der in F, sondern auch der in F_1 befindliche Körper Strahlen aus, die sich dann in F sammeln. Ist nun das Thermometer wärmer, so gibt es intensivere Strahlen ab und bekommt dafür weniger intensive von dem Eise, es gibt daher mehr aus als es einnimmt, muß daher fallen. Wäre das Thermometer ursprünglich kälter als das Eis, so würde es unter dem Einflusse der Strahlen des letzteren steigen und man kann daher das vorige Sinken der Temperatur nicht etwa Kältestrahlen zuschreiben, die als etwas der Wärme Entgegengesetztes vom Eise ausgehen.

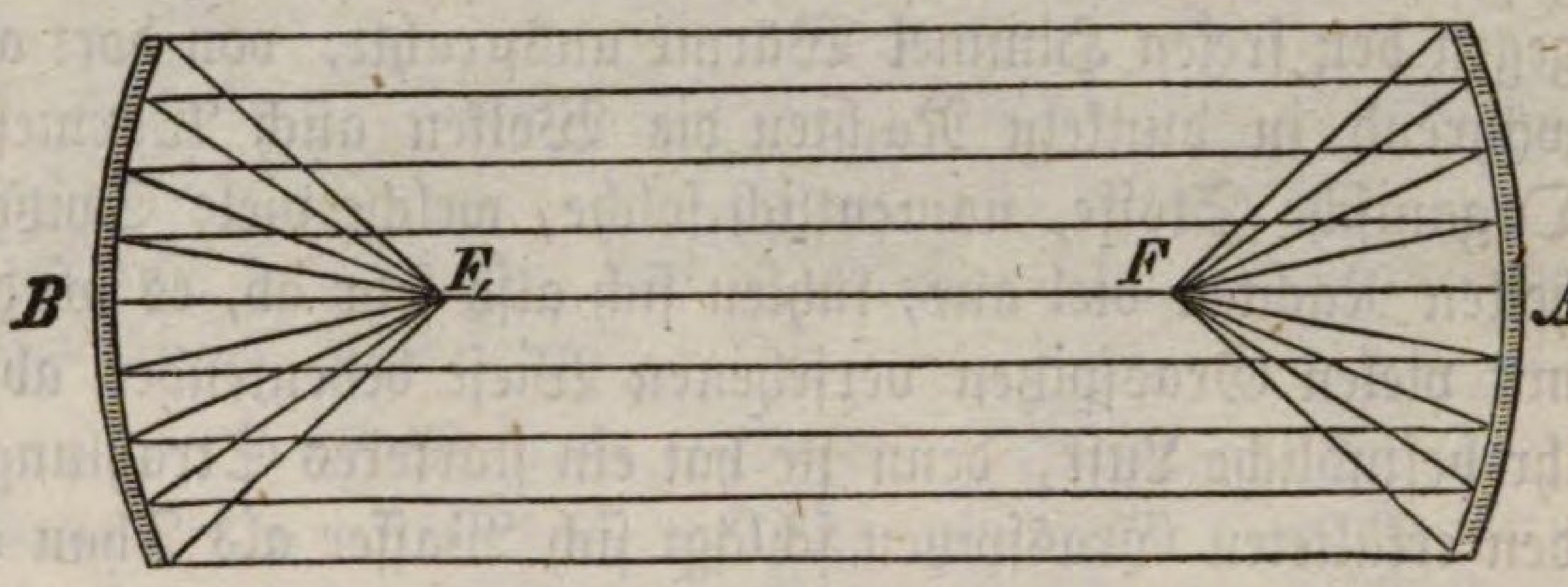


Fig. 242.

§. 212. Jeder Körper in der Natur ist warm und sendet daher nach allen Richtungen Strahlen aus, deren Intensität mit der Temperatur wechselt; dafür empfängt er aber auch von allen Seiten her Wärmestrahlen und es kommt nun darauf an, wie sich Ausgabe und Einnahme gestalten, um sagen zu können, ob er sich erwärme, ob er erkalte. Ist die Einnahme größer, so wird er mit dem Steigen seiner

Temperatur auch seine Ausgabe erhöhen und in Folge dessen muß es endlich zu einem Puncte kommen, wo er stationär bleibt. Zu demselben Resultate gelangt er durch fortwährende Verminderung der Ausgabe, wenn ursprünglich diese größer war. Es findet eine fortwährende Bewegung der Wärme statt, und das Endresultat ist ein Gleichwerden der Temperatur, wir haben hier das sogenannte bewegliche Gleichgewicht.

Ist ein Körper rings von Gegenständen gleicher Temperatur umgeben, so bleibt seine Wärme gleich; hat er aber nach einer oder mehreren Richtungen keine Einnahme, so kann er, weil seine Strahlen nach allen Richtungen gehen, bedeutend erkalten. Heitere Nächte sind darum kalt, weil die Erde gegen den freien Himmel Wärme ausstrahlt, von dort aber wenig bekommt; während in dunkeln Nächten die Wolken auch Wärmestrahlen herabschicken. Organische Stoffe, namentlich solche, welche viele Spitzen haben, strahlen in hellen Nächten viel aus, kühlen sich also sehr ab, es wird die Oberfläche einer mit vielen Grasspitzen versehenen Wiese bedeutender abgekühlt als die über ihr befindliche Luft, denn sie hat ein stärkeres Strahlungsvermögen, und an den erkälteten Grasspitzen schlägt sich Wasser als Thau oder Reif nieder. In finstern Nächten gibt es daher keinen Thau und auch nicht in windigen, weil in letzteren die Strömungen der nicht so bedeutend erkälteten Luft das Gras immer wieder erwärmen.

§. 213. Wie es Körper gibt, welche die Lichtstrahlen durchdringen lassen, also durchsichtig sind, so gibt es auch diathermane Körper, welche sich in gleicher Weise zu den Wärmestrahlen verhalten. Manche Körper lassen nur Lichtstrahlen von bestimmter Farbe passiren, wie z. B. farbiges Glas, und ebenso beobachtet man, daß die einen Wärmestrahlen einen Körper durchziehen, andere nicht, und daraus läßt sich folgern, daß es Gegenstände gibt, die in Bezug auf Wärme den farbig durchsichtigen Körpern entsprechen, während man andererseits aus dem abweichenden Verhalten der einzelnen von den verschiedenen Quellen herkommenden Wärmestrahlen auf eine den Farben analoge Verschiedenheit, also auf Farben der Wärme schließen kann. Durchsichtigkeit und Diathermanität sind in den wenigsten Fällen proportional. So gehen durch weißes Glas die Lichtstrahlen aller sichtbaren Farben, aber wenige oder keine Wärmestrahlen, die von einer dunkeln Wärmequelle herkommen, während andererseits reines Steinsalz sowohl die Licht- als auch alle Wärmefarben durchläßt. Die Lichtstrahlen werden von Prismen durchsichtiger Körper nach ihrer Brechbarkeit in ihre Farben zerlegt, und dasselbe geschieht, wenn man ein Prisma eines diathermanen Körpers wie Steinsalz anwendet, für die Wärmestrahlen. Es gibt ein

Wärmespectrum, wie es ein Lichtspectrum gibt; aber ersteres liegt (§. 157) der brechenden Kante des Prismas etwas näher als letzteres. Diejenigen Wärmequellen, welche nicht zugleich Lichtquellen sind, enthalten nicht alle Wärmefarben, sondern nur solche, deren Brechbarkeit kleiner ist als die des mindest brechbaren Lichtstrahles.

Der Brechbarkeit der Wärmestrahlen wegen muß es auch möglich sein, dieselben durch Linsen zu vereinigen und es ist bekannt, daß man durch Convexlinsen große Mengen von Wärmestrahlen sammeln und hohe Hitzgrade hervorbringen kann. Die Bezeichnungen Brennglas, Brennpunct rühren davon her.

Melloni hat zu seinen Versuchen über die Wärmefarben oder Thermochrose vier verschiedene Wärmequellen verwendet, eine Oelflamme, glühendes Platin, geschwärztes Kupfer von 390^0 C und siedendes Wasser in einem geschwärzten kupfernen Gefäße. Durch Platten von 2.6 Millimeter Dicke gingen von je 100 Strahlen durch

	Oelflamme	Platin	Kupfer	Wasser
Steinsalz, klar	92	92	92	92
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	26	6	0
Gyps	14	5	5	0
Alaun	9	2	0	0

Könnte man die Wärmestrahlen und nicht die Lichtstrahlen sehen, so würden sie einen Gesammteindruck auf unser Auge machen, der unserm Weiß entsprechen würde. Steinsalz wäre dann der einzige ganz durchsichtige Körper, und Spiegelglas wäre es eben so wenig als jetzt das blaue Glas. Fast ganz undurchsichtig wäre der Alaun. Wollte man dieselbe Voraussetzung der Sichtbarkeit der Wärmestrahlen der in §. 210 erwähnten Absorption zu Grunde legen, so würde nach dem Satze, daß das was nicht durchgelassen oder absorbirt wird, reflectirt werden muß, der Kienruß, der alle Wärme absorbirt also nichts reflectirt, schwarz erscheinen, Bleiweiß dagegen gefärbt, denn es absorbirt die einzelnen Wärmefarben ungleich, es würde aber sehr dunkel erscheinen, weil es viel absorbirt. Tusche wäre dunkel und farbig, nicht schwarz, blankes Metall wäre fast ganz weiß und hell.

Die Sonnenstrahlen dringen durch Glas, erwärmen daher das Innere der Zimmer, die dort Wärme ausstrahlenden Gegenstände geben aber dunkle Wärme ab, und diese kommt nicht durch das Glas. Darauf beruht die hohe Temperatur, die man in den von der Sonne beschienenen Frühbeeten so oft bemerkt.

Diejenigen Strahlen, die einen Körper passiren, können ihn nicht erwärmen, und so kann es kommen, daß Strahlen, die von dem einen Körper ausgehen, einen andern erwärmen und daß doch dabei das Medium, welches sie passiren, kalt bleibt, wie dieses bei den Sonnenstrahlen der Fall ist, welche die Erdoberfläche mehr erwärmen als die Luft, welche sie durchwandern.

§. 214. Neben der Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung, die auf weite Entfernung in kurzer Zeit von statten geht, gibt es noch eine Fortpflanzung durch Leitung, bei welcher ganz im Gegensatze von der vorigen Art die Wärme nur langsam von einem Molecüle auf's andere gleichsam schrittweise übergeht. Gesetzt, es sei eine Anzahl von Molecülen gleicher Temperatur in einer Reihe hinter einander, und das erste derselben werde durch irgend eine Veranlassung wärmer als die übrigen, so theilt es von dem Plus dem zweiten so viel mit, daß beide gleich warm sind. Dadurch entsteht eine Differenz zwischen dem zweiten und dem dritten, es gibt also das zweite an das dritte ab und entschädigt sich für den dadurch erlittenen Verlust durch neue Abnahme vom ersten. Hierauf kommt das vierte Theilchen an die Reihe u. s. f. bis endlich alle Molecüle wieder die gleiche Temperatur haben. Ein ganz analoger Vorgang findet statt, wenn das erste Theilchen erkältet wird; hier geht die Wärme in umgekehrter Richtung. Das Resultat ist wie bei der Strahlung Gleichheit der Wärme aller in Mitleidenschaft gezogenen Theilchen; aber während die Strahlung zunächst die Beziehungen der Körper unter einander regelt und sich auf die Oberflächen derselben beschränkt, finden wir die Thätigkeit der Leitung vorzugsweise im Innern, sie sucht die Temperatur der einzelnen Theile des Körpers unter einander auszugleichen.

Der Austausch der Wärme durch Leitung geht nicht bei allen Körpern mit gleicher Geschwindigkeit vor sich, die einen befördern die Wärme rasch, sind gute Wärmeleiter, wie z. B. die Metalle, während bei andern in sehr geringen Zwischenräumen bedeutende Wärmedifferenzen vorkommen können, die sich lange erhalten. Solche Körper heißen schlechte Wärmeleiter, hieher gehören Wolle, Seide, Asche, Kohle, Holz, Luft. Eine dritte Klasse endlich, wie die Steine, umfaßt die zwischen beiden Extremen liegenden Körper, die mittleren Wärmeleiter. Ein Stück Kohle kann man ganz nahe an der glühenden Stelle mit den Fingern berühren, eine an dem einen Ende glühende Cigarre steckt man am andern ohne Bedenken in den Mund. Beides unterläßt man bei einem gleich langen Stücke von Eisen, das an dem einen Ende glüht.

Biot und Desprez haben die Verhältnisse der Wärmeleitung in der Weise untersucht, daß sie in einem Körper in unter sich gleichen Abständen Vertiefungen anbrachten, die mit Quecksilber gefüllt wurden.

Es wurde dann der Körper an dem einen Ende erhitzt und seine Temperatur an den einzelnen Stellen durch in das Quecksilber eingetauchte Thermometer geprüft. Ingenhousz brachte an den Seiten eines Blechgefäßes runde Löcher an, in denen vermittelst Kork mit Wachs überzogene Stangen der zu prüfenden Körper befestigt wurden. Goß er nun siedendes Wasser in das Gefäß, so schmolz das Wachs an den Stangen um so weiter ab, je größer deren Leitungsfähigkeit war.

Despretz erhielt bei seinen Untersuchungen über die Leitungsfähigkeit verschiedener Körper die nachstehenden Zahlen, welche das Verhältniß der jeweiligen Leitung zu der des Goldes angeben, wenn man letztere = 1000 setzt:

Gold	1000	Eisen	374	Marmor	23
Silber	973	Zink	363	Porcellan	12
Kupfer	898	Zinn	304	Mauerstein	11

Berührt man in einem kalten Zimmer der Reihe nach verschiedene Gegenstände, wie Metalle, Steine, Holz, Federn, so werden die ersteren sich bedeutend kälter anfühlen als die letzteren, obwohl eine Untersuchung vermittelst des Thermometers zeigt, daß die genannten Körper sämmtlich gleiche Temperatur besitzen, denn die ersteren sind gute Wärmeleiter, die letzteren schlechte. Berührt man das Metall, so entzieht es der Hand Wärme; aber diese Wärme bleibt nicht auf der Oberfläche des Metalles, sondern theilt sich den nächst untern Schichten mit und weil sie daher von der Oberfläche immer wieder weggeht, kann diese nie die Wärme der Hand erreichen, die ihrerseits die Wärme vermittelst des Blutumlaufes aus dem Innern des Körpers bezieht, und die Folge dieser fortwährenden Temperaturdifferenz ist anhaltender Wärmeverlust des Fingers, der das Kältegefühl hervorruft. Berührt man statt des Metalles den schlechten Wärmeleiter, so wird allerdings auf dessen Oberfläche auch Wärme übergehen; da sie aber von dort nur schwer in's Innere dringt, so wird die Temperaturdifferenz zwischen Hand und Oberfläche bald verschwindend klein und es wird kein Kältegefühl hervorgerufen. Weil der durch schlechte Wärmeleiter hervorgerufene Verlust nur sehr gering ist, kann man dieselben auch benützen, wenn ein Körper vor diesen Verlusten möglichst gesichert werden soll. Darauf beruht die Wirkung der Kleider, die aus schlechten Wärmeleitern hergestellt werden. Der Pelz ist nicht für sich warm, er ist keine Wärmequelle, er schützt aber den Körper, weil er dessen Wärme nicht verloren gehen läßt, was geschieht, wenn die Luft unmittelbar mit demselben communicirt. Zwar ist letztere für sich einer der schlechtesten Wärmeleiter, aber die am Körper erwärmten Theilchen entfernen sich von diesem, um kältern Platz zu machen, und diese Strömungen sind es, welche die Luft zu einer besseren Leitung befähigen. Werden die Strömungen unmöglich gemacht, wie dieses bei der von den Kleidern, zwischen Doppelfenstern, Doppelthüren u. s. w. eingeschlossenen Luft der Fall ist, dann trägt die Luft sehr viel dazu bei, die Wärme beisammen zu halten. Alle diejenigen Körper, welche viele mit Luft gefüllte Zwischenräume haben, in denen

Strömungen nicht leicht stattfinden können, wie Wolle, Federn, gehören daher zu den schlechtesten Wärmeleitern.

Wie die schlechten Wärmeleiter vor dem Verluste an Wärme schützen, so bewahren sie auch vor zu bedeutendem Andringen derselben. Darauf beruht die Anwendung hölzerner Handhaben u. s. w.

§. 215. Die Flüssigkeiten und Gase beobachten in Folge der Beweglichkeit ihrer kleinsten Theilchen bei der Erwärmung ein von dem der festen Körper verschiedenes Verhalten. Wird nämlich ein Theilchen erwärmt, so ändert es dabei nicht blos seine Temperatur, sondern auch der damit verbundenen Ausdehnung wegen das specifische Gewicht, und die leichter gewordenen Theilchen gehen in die Höhe, um andern noch nicht erwärmten Platz zu machen. So wird das Wasser in einem über dem Feuer stehenden Gefäße von Strömungen durchzogen, die über der Wärmequelle in die Höhe gehen, sich oben seitlich richten, an den Wandungen abwärts steigen und unten wieder zu der heißen Stelle hingehen.

Man kann bei Anwendung von Wasser diese Strömungen durch grobes Bernsteinpulver sichtbar machen, weil dieses nahezu das specifische Gewicht des Wassers hat, also darin schwebend bleibt und die Wanderungen mitmacht. Dasselbe Phänomen beobachtet man bei der Luft. Ueber dem Ofen eines geheizten Zimmers befindet sich ein aufwärts gerichteter Strom, der oben angelangt sich seitlich richtet, in der Nähe der Wand herabsteigt und unten wieder gegen den Ofen hingeht. Diese Strömungen erkennt man bei Anwendung eines kleinen Luftballons von Collodium, wenn derselbe so viel mit Wasserstoff gefüllt ist, daß er nahezu das specifische Gewicht der Luft hat.

Dieses Verhalten der Flüssigkeiten findet Anwendung bei der Heizung mancher Localitäten. Man erwärmt Wasser in Röhren und läßt es in diesen durch Locale ziehen, die geheizt werden sollen, ohne daß sich ein Ofen in ihnen befindet, der wie z. B. in Treibhäusern nachtheilig wirkt. Auch die Luftheizung beruht hierauf. Hier befindet sich der Ofen unterhalb der zu erwärmenden Localitäten, in welche dann die erhitzte Luft aufsteigt.

§. 216. Die Hauptquelle der Wärme wenigstens für die Oberfläche der Erde sind die Wärmestrahlen, welche die Sonne gleichzeitig mit den Lichtstrahlen nach allen Richtungen aussendet und von denen ein der Größe der Erde entsprechender Theil auf diese fällt. Die Wärmestrahlen durchziehen die Luft, sie werden zum Theile von dieser absorbirt und erhöhen so deren Temperatur, während der Rest auf die Oberfläche herabkommt und diese erwärmt. An der warmen Erdober-

fläche erwärmt sich wieder und zwar vorzugsweise vermittelst Leitung die sie umgebende Luft, die sohin zweimal erwärmt wird, nämlich direct von den Sonnenstrahlen und dann von der Erde, weßhalb ihre Temperatur auch die der höheren Schichten überragt.

Die Wärme, die ein Punct der Erdoberfläche erlangt, hängt gleichzeitig von dem Winkel ab, unter dem die Sonnenstrahlen einfallen, und außerdem noch von der Zeit, welche die Insolation dauert, denn die in der einen Stunde angesammelte Wärme wird durch die in der nächsten kommenden Sonnenstrahlen vermehrt. Es wechselt daher die Temperatur der einzelnen Puncte neben der Höhe auch mit der geographischen Breite, mit den Tages- und den Jahreszeiten. Fallen die Sonnenstrahlen auf einen mit Wasser bedeckten Theil der Erdoberfläche, so wird ein Theil derselben zur Erhöhung der Wassertemperatur verwendet, der andere bildet Dämpfe und wird latent. Durch die Winde werden die Dämpfe von der Wasserfläche auch über das Land geführt, und indem sie sich dort condensiren, wird die gebundene Wärme wieder frei, sie addirt sich dann zu der dem Lande durch directe Bestrahlnng zukommenden und begünstigt daher das Land auf Kosten des Wassers. Das verschiedene Absorptionsvermögen der Körper, das (§. 210) je nach Farbe, Oberfläche u. s. w. wechselt, trägt ebenfalls bei, die Manchfaltigkeit der Temperaturen, die wir beobachten, zu vergrößern. Das Resultat der Wirkung der Sonnenstrahlen erkennen wir an der verschiedenen Temperatur der Erdoberflächenpuncte. Gemessen werden die Sonnenstrahlen nach Pouillet, indem man sie senkrecht auf eine geschwärzte Metallfläche fallen und eine kleine Quantität Wasser durch dieselbe erwärmen läßt.

Der Weltenraum ist mit Sternen und mit Aether erfüllt, die irgend eine Temperatur, also ein Wärmequantum haben müssen, und da jeder warme Körper je nach Vermögen nach allen Richtungen Wärme ausstrahlt, so muß auch die Erde von diesen Strahlen getroffen und erwärmt werden. Pouillet hat diese Wärmequelle untersucht, indem er den Einfluß des Weltenraumes und der Atmosphäre auf ein vor dem Einflusse der Erde möglichst geschütztes Thermometer beobachtete und diese Wirkung mit der eines künstlichen Himmels aus Zink, das durch eine Kältemischung erkältet war, verglich.

Die durch Sonne und Weltenraum erwärmte Erde gibt ebenfalls den physicalischen Gesetzen zufolge nach allen Richtungen Wärmestrahlen ab, erkältet also und das Endresultat ist, daß sie am Ende des Jahres

die sämmtliche Wärme, die sie aus beiden Quellen erhalten, wieder abgegeben hat. Es besteht daher ein thermisches Gleichgewicht der Erdoberfläche. Die einzelnen Puncte derselben bekommen bald mehr, als sie abgeben, bald haben wir den umgekehrten Fall; aber mit der Zeit gleichen Gewinn und Verlust sich aus. Es wird daher das Wärmecapital der Erde trotz der beständigen Einnahme durch die von außen kommende Wärme nicht größer und nur Schwankungen der Temperatur können vorkommen.

Nach Pouillet gelangen von den auf die Atmosphäre fallenden Sonnenstrahlen nur $\frac{6}{10}$ auf die Erdoberfläche, der Rest wird von der Luft absorbirt. Würde die sämmtliche während eines Jahres auf die Erde fallende Sonnenwärme gleichmäßig über die Erde vertheilt, so würde sie hinreichen, um eine die Erde umgebende Eiskruste von 31 Meter Dicke zu schmelzen. Da die Sonne nach allen Seiten Wärmestrahlen aussendet, aber nur die in bestimmten Richtungen gehenden Strahlen die Erde erreichen, weil die andern neben ihr vorbeigehen, ist die auf der Erde hervorgebrachte Wirkung nur der 238000000te Theil der ganzen Sonnenwirkung. Die vom Monde auf die Erde reflectirte Wärme ist so geringe, daß Melloni sie nur vermittelst der empfindlichsten thermoelectrischen Säule wahrnehmen konnte.

Die Temperatur des Weltenraumes beträgt nach Pouillet nur -114^0 R, da dieser Raum aber doch Wärme aussendet und da er die Erde von allen Seiten umgibt, so beträgt die von ihm gegen unsern Wohnstern ausgesendete Wärme noch $\frac{5}{6}$ von der der Sonne; doch bekommt er von der Erde nicht nur diese, sondern auch die gesammte Sonnenwärme wieder zurück.

§. 217. Untersucht man die Temperatur des Bodens in verschiedenen Tiefen, indem man von der Oberfläche nach und nach hinabsteigt, so zeigt sich, daß die obersten Schichten Temperaturschwankungen erleiden, die in offenbarer Verbindung mit den Tages- und Jahreszeiten stehen und gegen die Tiefe zu allmählig kleiner werdend endlich verschwinden. Der Punct, wo diese Unterschiede unkenntlich werden, wechselt mit der Verschiedenheit der Jahreszeiten und der Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens und kann bis etwa 60 Fuß Tiefe erreichen. Bis dorthin ist das arithmetische Mittel aller im Laufe des Jahres beobachteten Temperaturen bei allen Schichten nahe dasselbe und kommt der mittleren Wärme der Oberfläche ziemlich gleich. Dieses Verhalten ist genau dasselbe, das man beobachtet, wenn man irgend einen Körper dem Einflusse einer periodisch schwankenden Wärmequelle aussetzt, und in der That läßt sich die Sonne wegen ihrer während der verschiedenen Jahreszeiten wechselnden Stellung gegen einen und den-

selben Punct der Erdoberfläche als eine periodisch schwankende Wärmequelle betrachten.

Steigt man weiter in die Tiefe, so zeigt sich, daß die Wärme des Bodens zunimmt und im Mittel beträgt diese Temperaturerhöhung für je 38 Meter 1° R. Diese Zunahme kann nicht von der Sonne herrühren, weil sonst auch die Mittelwärme der obern Kruste größer sein müßte und man nimmt daher an, daß das Innere der Erde eine höhere Temperatur habe als die Oberfläche und daß diese höhere Temperatur von der Sonne unabhängig sei. Dieser Schluß wird dadurch bestärkt, daß Wasser, die wie die der artesischen Brunnen aus großer Tiefe kommen, um so wärmer sind, je tiefer die Stelle ist, von der sie aufstiegen. Noch höhere Wärmegrade beobachtet man bei vielen Thermen, und die Vulcane endlich bringen glühend flüssige Lava hervor.

Die Erde stellt der Annahme der Geologen zufolge eine glühend flüssige Kugel dar, welche von einer kalten Kruste überzogen ist und das Innere wirkt auf die Oberfläche durch die jetzt allerdings sehr unbedeutende Menge geleiteter Wärme, außerdem aber durch die Warmquellen und die Vulcane.

Nach Poisson würde die in Paris aus dem Boden dringende Erdwärme im Stande sein, in einem Jahre eine Eisschichte von $6\frac{1}{2}$ Millimeter Höhe zu schmelzen; die Erhöhung die aus der Erde zu der durch die Sonne bewirkten Temperatur kommt, beträgt nicht mehr als $\frac{1}{38}$°, ist daher gänzlich außer Acht zu lassen, wenn es sich um die Oberflächentemperatur handelt.

§. 218. Wenn irgend ein Körper sich mit dem andern chemisch verbindet, so ist fast unausbleiblich eine Entwicklung von Wärme dabei. Schüttet man concentrirte Schwefelsäure und Wasser zusammen, so wird Wärme frei, indem sich der Reihe nach Verbindungen eines Mischungsgewichtes der Säure mit mehr und mehr Mischungsgewichten Wasser, sogenannte Hydrate bilden. Wird Wasser an frisch gebrannten Kalk gegossen, so kann dieser sich bis zum Glühen erhitzen, indem sich nicht nur die der chemischen Verbindung entsprechende Wärme entwickelt, sondern auch latente Wärme frei wird, da das vorher tropfbarflüssige Wasser mit dem Kalke eine feste Verbindung eingeht. Die sogenannten Verbrennungen sind chemische Processe, sind Verbindungen des verbrennenden Körpers mit Sauerstoff. Fast sämmtliche künstliche Wärme beruht auf solchen Verbrennungen, ist entwickelt durch eine chemische Verbindung.

Durch die Verbrennung der Gewichtseinheit nachstehender Substanzen wird die daneben stehende Zahl von Wärmeeinheiten frei:

Vollkommen trockenes Holz	2880	Baumöl	8960
Lufttrockenes Holz	2320	Weingeist	5760
Holzkohlen	6460	Talg	6400
Steinkohlen (beste)	5600	Terpentinöl	8800
Coaks	5280	Schwefel	1600
Torf (guter)	2400	Phosphor	4800
Wasserstoff	27600	Kohlenoxydgas	1920
Sumpfgas	10400	Oelbildendes Gas	9600

Bei Verbindung eines Körpers mit Chlor entwickeln sich an Wärmeeinheiten:

Wasserstoff	19000	Kupfer	769
Kalium	2124	Eisen	1391

Je größer die chemische Affinität zweier Stoffe, um so bedeutender ist die durch ihre Verbindung hervorgebrachte Wärme, weßhalb man die letztere auch als ein Maaß der ersteren betrachten kann. Die Menge von Wärme, die einer gegebenen Verbindung entspricht, ist immer dieselbe, sie mag nun auf einmal oder schrittweise entwickelt werden. Verbrennt man Kohlenstoff zu Kohlensäure, so erhält man 6460 Wärmeeinheiten, bildet sich bei nicht ausreichender Quantität von Sauerstoff nur Kohlenoxydgas, so bekommt man nur 1920, wenn aber dieses Kohlenoxydgas vollends zu Kohlensäure verbrannt wird, so werden noch 4540 Wärmeeinheiten frei und nun ist die Zahl 6460 vollständig. Entsteht eine Verbindung AB durch Zusammenbringen von A und BC, so daß also B, wenn es sich mit A verbindet, von C getrennt werden muß, dann bekommt man die AB entsprechende Wärme weniger derjenigen, die verwendet wurde um BC zu scheiden, und diese Menge ist derjenigen gleich, welche bei der Bildung von BC frei wurde. Das Licht zerlegt das Chlorwasser in der Weise, daß sich statt Wasser und Chlor Sauerstoff und Chlorwasserstoff bildet, und es geht daher der Wasserstoff von dem Sauerstoff weg zu dem Chlor. Verbindet sich die Gewichtseinheit Wasserstoff mit Sauerstoff, so werden 27600 Wärmeeinheiten frei, bei der Verbindung von Wasserstoff mit Chlor 19000. Soll also die Gewichtseinheit Wasserstoff von dem Sauerstoff weg zum Chlor gehen, so muß das Licht als Ersatz für 27600 — 19000 = 8600 Wärmeeinheiten dienen.

Verbindet sich ein Körper mit einem andern in verschiedenen Verhältnissen, so nimmt die Wärme, die sich entwickelt, bei den auf einander folgenden Verbindungen stufenweise ab. So verbindet sich die Schwefelsäure mit Wasser zu Hydraten, deren Wassergehalt verschiedene Zahlen von Mischungsgewichten beträgt. Bei Bildung des zweiten Hydrates aus dem ersten (engl. Schwefelsäure) bekommt man 64.7 Wärmeeinheiten. Gießt man der Reihe nach je 1 Mischgsg. Wasser mehr zu, so bekommt man 29.9, 17.3, 10.3, 8.5 u. s. w. Wärmeeinheiten.

Kommen bei chemischen Verbindungen Aggregatzustandänderungen vor, so wird das Quantum der entwickelten Wärme durch die latente Wärme geändert.

Zu der Wärmeentwicklung bei chemischen Vorgängen gehört auch die sogenannte thierische Wärme. Der Mensch ebenso wie die Thiere ist wärmer als das sie umgebende Medium, sei dieses nun Luft oder Wasser. Die Ursache

davon ist die Verbindung von Stoffen, welche Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten mit Sauerstoff, und diese Verbindung wird vorzugsweise durch die Respiration vermittelt. Die Säugethiere wie die Vögel haben eine constante Temperatur, erstere 29—30° R, letztere gewöhnlich 34° und diese Beständigkeit wird bei der Verschiedenheit der Luftwärme theils durch vermehrte oder verminderte Respirationsthätigkeit, theils durch schwankende Abkühlung durch Ausdünstung oder Schweiß erhalten.

§. 219. Eine weitere Wärmequelle finden wir noch in den mechanischen Mitteln. Ueberall da, wo ein Druck sei es durch Pressen oder Schlagen oder wo eine Reibung hervorgebracht wird, da stellt sich auch Wärme ein. Nach den in §. 207 gezogenen Schlüssen tritt die Wärme an die Stelle der vollzogenen Arbeit.

Durch einen raschen Druck comprimirte Luft kann sich bis zum Glühen erhitzen und einen damit in Berührung gebrachten Feuerschwamm entzünden. Darauf beruht das Compressionsfeuerzeug. Durch Reibung zweier Hölzer aneinander verschaffen sich die Wilden Feuer, und wir machen es bei den Streichzündhölzchen nicht anders, indem wir durch Reiben die Temperatur des Phosphors bis zu der Höhe bringen, bei der er sich entzündet.

§. 220. Die letzte Wärmequelle, die electrischen Ströme und die damit verbundenen Erscheinungen, läßt sich erst näher erörtern, wenn die Besprechung der electrischen Ströme selbst vorausgegangen ist.

§. 221. Nach der Untersuchung der wichtigeren Wärmephänomene bleibt noch übrig, die Frage zu beantworten, was denn eigentlich die Wärme, die Ursache dieser Phänomene sei.

In früherer Zeit nahm man an, daß es einen eigenthümlichen unwägbaren Stoff gebe, der von dem einen Körper in den andern gehen kann und so die Temperatur bald erhöht, bald erniedrigt. Diese Annahme ist jedoch unhaltbar geworden, seitdem man die Erscheinungen der strahlenden Wärme näher kennen gelernt hat und der Wärmestoff ist seither als ebenso unmöglich anerkannt, als der der Emissionstheorie des Lichtes zu Grunde liegende Lichtstoff.

Die Erscheinungen der strahlenden Wärme weisen darauf hin, daß ihnen, die der Lichtstrahlung so nahe stehen, auch die gleiche Ursache zu Grunde liegen müsse, und sie lassen sich vollkommen ungezwungen erklären, wenn man annimmt, daß die Wärmestrahlen von Aetherschwingungen herrühren, die sich zu denen des Lichtes etwa so verhalten wie die tieferen Töne zu den höheren. Chlorophyll, einer der Körper, welche im Stande sind, durch Fluorescenz (§. 159) die Wellenlänge der ultravioletten Strahlen so zu verlängern, daß sie von dem

Auge wahrgenommen werden können, ist auch im Stande, bei den für sich sichtbaren Strahlen eine solche Verlängerung der Wellen eintreten zu lassen, daß sie nicht mehr sichtbar sind und nun als Wärmestrahlen auftreten. Wie also die ultravioletten Strahlen in das optische Spectrum über die violette Gränze hereingerückt werden, so lassen sich die sichtbaren Strahlen über die rothe Gränze hinausrücken und sind dann Wärme. Trotz dieser Analogie zwischen Wärme- und Lichtstrahlen läßt sich doch die Frage nicht beantworten, warum die Stelle zwischen Roth und Gelb des Spectrums gleichzeitig hell und warm ist. Ist es derselbe Strahl, der beide Wirkungen äußert? Oder gibt es eigene Wärmestrahlen und eigene Lichtstrahlen, die die gleiche Brechbarkeit haben?

Es liegt nahe, auch die übrigen Wärmeerscheinungen aus Schwingungen zu erklären, deren größere oder geringere Intensität eine höhere oder niedrigere Temperatur zur Folge haben; doch müssen diese Schwingungen der bewegten Theilchen einige Zeit hindurch thätig sein und nicht wie die des Schalles und des Lichtes blos momentan wirken. Wie sich die Verhältnisse gestalten, wenn ein Körper seinen Aggregatzustand ändert, läßt sich zur Zeit nicht sagen, man kann wohl ahnen, daß hier Veränderungen der Schwingungsintensitäten vorkommen können, man kann Absonderungen und Aufnahmen von Aether annehmen, aber genau angeben, warum diese oder jene Erscheinung gerade so wie beobachtet eingetreten sei, kann man jetzt noch nicht.

Der Magnetismus.

§. 222. Manche Eisenerze haben die Eigenschaft, Eisen und eisenhaltige Körper schon aus einiger Entfernung anzuziehen und festzuhalten, und die chemische Untersuchung der Erze zeigt, daß sie Verbindungen von Eisen und Sauerstoff (Eisenoxydoxydul, Magneteisenstein), oder von Eisen und Schwefel (Magnetkies) sind. Man kann diese Erscheinung auch an Stücken von nicht ganz reinem Eisen wahrnehmen, die einige Zeit dem Einflusse der Luft ausgesetzt waren oder in der Erde gelegen hatten, und dieses tritt am deutlichsten dann hervor, wenn ihre Richtung ungefähr die südnördliche war.

Man nennt diese Erscheinung Magnetismus und den Körper, an welchem er wahrgenommen wird, Magnet.

Wenn ein Magnet seine Wirkung auf Eisen schon aus einiger Entfernung zeigt, so folgt, da zwischen ihm und dem Eisen sich Luft befindet, daß er auch durch die Luft hindurch anzieht; er thut dieses aber auch durch andere Körper von irgend einem beliebigen Materiale und die von ihm durch Holz hindurch geäußerte Wirkung ist nicht schwächer als die durch die Luft hervorgebrachte. Nur wenn zwischen das angezogene Eisen und den Magnet eine Wand von Eisen, etwa ein Eisenblech gestellt wird, findet eine merkliche Schwächung der Anziehung statt.

Man findet die magnetischen Eisenerze an den verschiedensten Puncten der Erde, und namentlich der Magneteisenstein kommt bisweilen in sehr großen Massen vor. So sollen der Berg Taberg in Schwedisch-Lappland und der Pumachanche in Chili fast ganz daraus bestehen, und Elba sowie Roßlag in Schweden sind berühmte Lagerstätten dieses Minerals, das als eines der das beste Eisen liefernden Erze zu betrachten ist. Von einem der Fundorte, der ehemaligen Stadt Magnesia in Kleinasien soll auch die Bezeichnung Magnetismus herrühren. Nach einer andern Annahme soll ein Hirte Magnes zuerst den Magnetismus dadurch entdeckt haben, daß die eisernen Nägel seiner Schuhe an einem Felsen hafteten.

So lange das Erz sich an seinem natürlichen Lagerungsorte befindet, besitzt es die merkwürdige Wirkung auf das Eisen nicht, sondern erhält sie erst einige Zeit nachdem es gebrochen wurde oder dem Lichte ausgesetzt war.

§. 223. Die Frage, ob die Wirkung eines Magnetes an allen Puncten dieselbe sei, läßt sich am leichtesten beantworten, wenn man ihn in Eisenfeile wälzt, denn es zeigt sich, daß letztere sich nicht an allen Puncten seiner Oberfläche in gleicher Menge anhängt. Es sind nur einige, doch mindestens zwei, die sogenannten Pole, welche die Anziehung in stärkerem Maaße zeigen, während die Nachbarstellen sie weniger, die entfernten gar nicht besitzen.

§. 224. Wenn man einem an einem Magnete haftenden Eisenstücke ein anderes nähert, so kann man sehr leicht wahrnehmen, daß es dieses anzieht, wie es selbst von dem Magnete angezogen worden ist, während das zweite Eisen seinerseits ein drittes festhalten kann u. s. w. Die magnetische Kraft muß darum mittheilbar sein. Der so erregte Magnetismus ist jedoch nicht von Dauer, denn sowie das erste Stück von dem Magnete getrennt wird, erlischt in ihm wie in den andern alle Anziehung, sie verhalten sich ganz indifferent gegen einander. Nimmt man dagegen Stücke von Stahl, so werden diese zwar nicht

so schnell magnetisch, dafür bleiben sie es aber nach der Trennung von dem Magnete.

Dadurch, daß das Eisen magnetisch wird oder seinen Magnetismus verliert, muß in seinem Innern eine Veränderung vor sich gehen, die sich durch bloßes Zusammenbringen mit dem Magnete und Trennung von demselben bewerkstelligen läßt, während der Stahl der einen wie der andern Aenderung seines Zustandes einen Widerstand entgegensetzt. Dieses Widerstandsvermögen heißt man Coërcitivkraft.

Ganz reines, sauerstoff- und kohlenstofffreies (weiches) Eisen hat nur eine äußerst geringe, im absolut reinen Zustande vielleicht gar keine Coërcitivkraft; diese wächst, wenn mit der Zunahme des Kohlenstoffs das Schmiedeeisen in Stahl übergeht, schwankt aber bei letzterem bei sonst gleichem Kohlenstoffgehalte je nach dessen Härte, indem der mehr gehärtete Stahl einen größeren Widerstand leistet. Noch größer wird dieser bei dem noch kohlenstoffreicheren und noch härteren Gußeisen.

§. 225. Wenn man ein Stück Stahl längere Zeit mit einem Magnete in Berührung läßt oder letzteren einigemal jedoch stets in derselben Richtung damit streicht, so wird der Stahl magnetisch und man kann dieses bei demselben Magnete mit beliebig vielen Stahlstücken wiederholen, ohne daß er auch nur den geringsten Theil seiner Kraft oder seines Gewichtes verliert, er ist unerschöpflich. Würde bei der Magnetisirung eines Stahlstückes irgend etwas auf letzteres übergehen, so müßte, und wenn der Verlust auch noch so gering wäre, der Magnet endlich erlöschen; da dieses aber nicht der Fall ist, läßt sich schließen, daß ohne den Uebergang irgend eines Theiles von dem einen Körper auf den andern nur der Zustand, in dem sich die Theilchen des zu magnetisirenden Körpers befinden, in etwas geändert werde.

§. 226. Legt man einen durch den Magnet umgewandelten Stahlstab in Eisenfeile, so zeigt sich nach dem Herausziehen, daß sich an den Enden ein Bart von kleinen Eisenstückchen angesetzt hat, daß aber diese Anhängsel gegen die Mitte zu sparsamer werden und daß in der Mitte selbst gar nichts haftet. Der Stahl zeigt mithin dieselbe Eigenschaft, die bereits der natürliche Magnet besaß, die, daß die Wirkung nicht an allen Stellen stattfindet. Die ganze Anziehung scheint auf die beiden Ende — Pole — beschränkt zu sein. Die auf künstliche Weise erzielten Stahlmagnete zeigen überhaupt in Beziehung auf den Magnetismus ganz dieselben Erscheinungen wie die natürlichen Magnete und werden, da man ihnen eine beliebige Gestalt geben kann, fast ausschließlich zu den Versuchen benützt.

§. 227. Hängt man eine magnetisirte Nadel an einem Seidenfaden in der Mitte so auf, daß sie eine horizontale Stellung einnimmt, und nähert man dann ihren beiden Polen nach einander die beiden Pole einer andern Magnetnadel, so zeigt sich, daß immer 2 Pole sich anziehen, 2 dagegen sich abstoßen. Derjenige Pol, der das eine Ende der hängenden Nadel anzieht, stößt das andere ab, während der andere Pol das entgegengesetzte Verhalten beobachtet. Nennt man die sich anziehenden Pole freundliche, die sich abstoßenden feindliche, so haben 2 Nadeln immer 2 freundliche und 2 feindliche Pole, woraus folgt, daß es zweierlei Magnetismen geben müsse, die wie Anziehung und Abstoßung in einem gewissen Gegensatze zu einander stehen. Hat man mehrere Nadeln und untersucht man die Wirkung der jeweiligen Pole zuerst auf die Pole der hängenden Nadel und dann unter sich, so findet man, daß diejenigen Pole zweier verschiedenen Nadeln, die auf einen gewissen Pol der hängenden gleich, sei dieses anziehend oder abstoßend wirken, sich unter einander abstoßen, daß sie sich dagegen anziehen, wenn ihr Verhalten gegen die Pole der aufgehängten Nadel sich entgegengesetzt ist. Zwei zu einem und demselben Pole der hängenden Nadel freundliche oder feindliche Pole sind unter einander feindlich, sie sind sich aber freundlich, wenn der eine dem Nadelpole feindlich, der andere freundlich ist. Daraus folgt der Satz: Gleichartiges stößt sich ab, Ungleichartiges zieht sich an.

§. 228. Wenn von den beiden Enden eines Magnetes jedes einen andern Magnetismus zeigt, so liegt es nahe, den Versuch zur Isolirung der beiden dadurch zu machen, daß man den die beiden Magnetismen an gesonderten Stellen enthaltenden Stahl da, wo er indifferent ist, also in der Mitte in 2 Theile theilt. Geschieht dieses und untersucht man die Bruchstücke, so zeigt sich, daß jedes derselben an beiden Enden wieder je einen Pol hat, wovon also der eine an derjenigen Stelle ist, die vorher bei dem ganzen Magnete in der Mitte, also an dem ganz wirkungslosen Puncte war, und so oft auch die Bruchstücke wieder getheilt werden, so wird stets jedes derselben seine zwei Pole haben. Es ist ganz unmöglich einen Magnet herzustellen, der weniger als zwei Pole besitzt.

§. 229. Sollen die Erscheinungen, die im Vorstehenden angegeben wurden, erklärt, d. h. in einen Zusammenhang unter einander gebracht werden, so sehen wir uns zu der Annahme genöthigt, daß es 2 verschiedene sich wie + und — entgegengesetzte Wirkungen oder Magne=

tismen geben müsse, die sich in den einzelnen Molecülen des magnetischen Körpers in einer bestimmten gesetzmäßigen Vertheilung befinden, während bei dem nichtmagnetischen Körper die beiden Magnetismen zwar vorhanden sind, aber unvertheilt durcheinander liegen. Das eigentliche Wesen der Magnetismen läßt sich zur Zeit nicht angeben. Man denkt sich dieselben als ein bewegliches Etwas (Fluidum), das jedoch mit einer körperlichen Flüssigkeit, sei dieselbe tropfbar oder gasförmig, außer der Beweglichkeit seiner Theile nichts gemein hat. Man kann sich einen Magnet als aus einer großen Anzahl von nach Art des Schemas Fig. 243 construirten Molecülreihen zusammengesetzt denken,

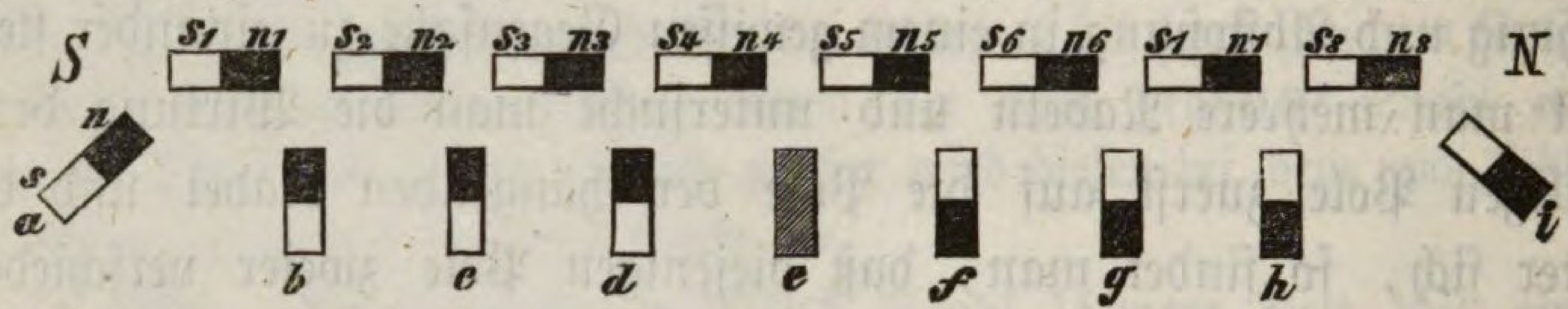


Fig. 243.

wenn die einzelnen kleinsten Theilchen durch die kleinen Rechtecke der Reihe SN vorgestellt werden, von denen jedes der verschiedenen Schattirung gemäß beide Magnetismen besitzt. Jedes Theilchen ist für sich ein Magnet und seine Pole wirken nach außen entweder anziehend oder abstoßend.

Nähert man der Reihe SN ein Eisenstückchen, das durch a repräsentirt sein möge und in welchem wir dem Vorstehenden zufolge die beiden Magnetismen als zwar vorhanden aber nicht ursprünglich von einander getrennt anzunehmen haben, so werden die in SN vertheilten Magnetismen eine Einwirkung auf die in a befindlichen ausüben und s_1 wird in der Weise thätig sein, daß der ihm gleichnamige Magnetismus in a sich auf die entgegengesetzte Seite seines Molecüles also nach s begibt, während der ihm ungleichnamige die gegenüberliegende Stelle n einnimmt. Der Magnetismus n_1 wirkt dem s_1 entgegengesetzt und für sich würde er also in a die umgekehrte Wirkung hervorrufen, weil aber s_1 in geringerer Entfernung thätig ist als n_1, denn wir können es als einen allgemein giltigen Satz betrachten, daß alle Wirkungen in der Nähe ihres Ausgangspunctes stärker sind als in größerer Entfernung, so ist seine Wirkung die maaßgebende und die Gesammtthätigkeit ist daher der Differenz der beiden Wirkungen s_1 und n_1 gleich. Die übrigen Molecüle der Reihe SN wirken zwar aus größerer Entfernung, da sie aber alle im gleichen Sinne vertheilend wirken, denn bei allen ist die Anordnung die gleiche, so wird dadurch der Ein=

fluß von $s_1 n_1$ verstärkt und es wird daher n der Magnetismus an dem SN zugekehrten Ende von a sein. Dieses n wird von S angezogen und dafür wird s abgestoßen; da aber n in geringerer Entfernung von S ist als s, so wird a von SN angezogen. Untersucht man die auf b ausgeübte Wirkung, so zeigt sich, daß n_1 und s_2, die in gleicher Entfernung und einander entgegengesetzt sind, sich aufheben. Das Gleiche gilt auch für s_1 und n_2 und es bleibt daher nur noch die Thätigkeit der übrigen Molecüle übrig, die wohl in demselben Sinne wirken wie früher, aber einen geringeren Erfolg haben, denn gerade die Molecüle, die vorhin am meisten ausrichteten, heben sich jetzt auf. Es wird daher die Vertheilung der Magnetismen in b eine weniger vollkommene, also der entstehende Magnet b schwächer sein als a. In dem der Mitte von SN gegenüberliegenden e gibt es gar keine Vertheilung, weil die Wirkungen, die von den Molecülen von SN ausgehen, sich paarweise aufheben, und e wird daher weder angezogen noch wird es magnetisch. In f, g, h und i befindet sich das Eisen in der umgekehrten Lage von d, c, b und a, denn hier ist nach Abzug der sich aufhebenden Wirkungen der N Magnetismus der stärkere und es nimmt zwar die Vollständigkeit der Vertheilung von f bis i zu, aber sie ist dem Sinne nach der früheren entgegengesetzt.

Bricht man einen Magnet ab, so erhält man wie bereits erwähnt 2 Stücke, von denen jedes wieder seine 2 Pole hat. Man kann sich dieses aus Fig. 243 leicht erklären, wenn man die Reihe SN irgendwo abgeschnitten denkt.

§. 230. Wird ein Körper von vielen andern an verschiedenen Orten befindlichen angezogen, so combinirt sich deren Gesammtwirkung in der Art, daß sie von einem je nach der Anordnung der anziehenden Theilchen verschieden gelegenen Puncte auszugehen scheint, wie dieses bei der Schwerpunctsbestimmung bereits gezeigt worden ist. Bei den Magneten wirken 2 je nach Umständen anziehende oder abstoßende Kräfte und als Repräsentanten aller dieser von den einzelnen Molecülen ausgehenden Thätigkeiten lassen sich 2 Puncte betrachten, die in der Nähe der beiden Ende des Magnetes liegen, entgegengesetzten Magnetismus haben und die Pole im strengeren Sinne sind. Wie man den Schwerpunct als den Vertreter der gesammten Masse eines schweren Körpers betrachten kann, so kann man auch die 2 Pole eines Magnetes als die jeweiligen Vertreter der beiden Magnetismen ansehen, und die Stellung, die 2 Magnete gegen einander einnehmen, wird sich

aus der gegenseitigen Lage ihrer Pole, sowie natürlich auch aus der jeweiligen Stärke ergeben.

Eine kleine Magnetnadel, die über einem größeren Magnete so aufgehängt ist, daß sie sich nach allen Richtungen (also auch in der Verticalebene) drehen kann, wird an verschiedenen Aufhängepuncten die in Fig. 244 angegebenen Stellungen bekommen; sie steht in der Mitte

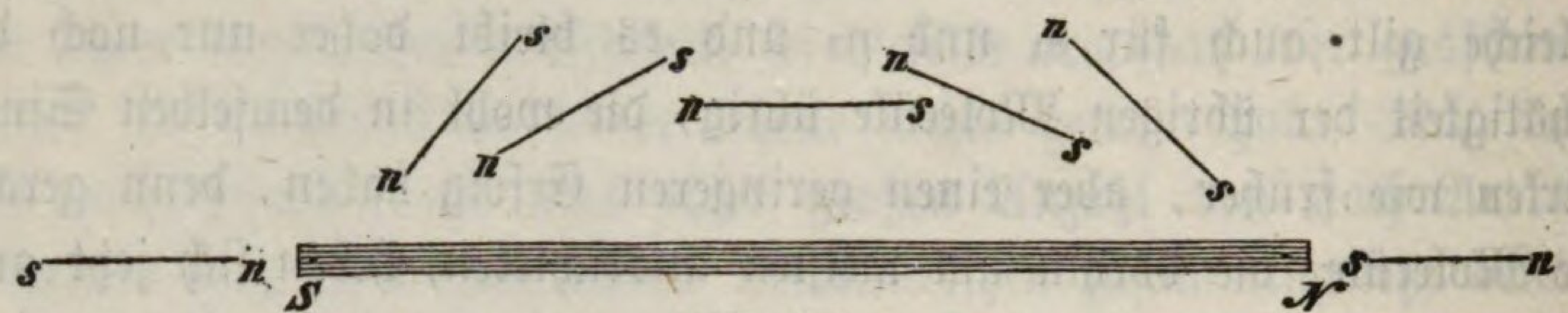


Fig. 244.

horizontal, denn beide Pole S und N wirken gleichmäßig auf ihre Pole s und n ein, dagegen neigt sie sich auf beiden Seiten in verschiedenem Sinne, da jedesmal ein anderer Pol in geringerer Entfernung wirkt. Ueber dem Pole steht die Nadel senkrecht, und allemal wird dem Pole des Stahles der entgegengesetzt magnetische Pol der Nadel gegenüberstehen. Man kann hier ns und NS als die Vertreter der verschiedenen Magnetismen betrachten, N und n, sowie S und s stoßen sich ab, N und s, sowie S und n ziehen sich an. Vergleicht man dieses Resultat mit dem des vorhergehenden Paragraphen, so zeigt sich, daß allerdings die vertheilende und anziehende Wirkung eines Magnetes gegen die Mitte hin sehr klein werden, ja in dieser selbst ganz verschwinden kann, daß aber eine aufgehängte Magnetnadel selbst dann, wenn sie über der Mitte des Magnetes steht, vermöge dessen Wirkung noch eine bestimmte Richtung erhält.

§. 231. Es ist unmöglich, daß ein Magnet weniger als 2 Pole hat oder daß die beiden Pole einerlei Magnetismus besitzen. Man kann aber an demselben Magnete 3 und mehr Pole zum Vorschein bringen, doch sind bezüglich der Art des Magnetismus je 2 auf einander folgende Pole sich entgegengesetzt. Streicht man einen Stahlstab von einem Ende zum andern mit einem Pole des Magnetes, so wird er selbst magnetisch und das von letzterem zuletzt berührte Ende hat den ihm entgegengesetzten Magnetismus, hat also einen ihm freundlichen Pol. Ist der so hervorgerufene Magnetismus noch nicht stark genug, so kann man das Streichen wiederholen, indem man (ohne jedoch rückwärts zu streichen) vorn wieder anfangt, oder indem man mit dem andern Ende des Magnetes rückwärts fährt. Bei dem Hin- und Hergehen mit dem gleichen Pole wirkt die eine Bewegung der andern entgegen und man

kann so den schon hervorgerufenen Magnetismus des Stahles aufheben oder auch ganz umkehren. Streicht man einen Stahlstab von der Mitte aus gegen die beiden Enden hin jedesmal mit dem gleichen Pole, so erhalten diese Enden einen dem angewandten Pole entgegengesetzten Magnetismus, während die Mitte ihm gleichnamig ist. Man hat also auf diese Weise 3 Pole.

Bei Zugrundelegung mehrerer Anfangspuncte entstehen auch mehrere solche Pole, sogenannte Folgepuncte, und dieses Verfahren gelingt um so besser, je härter der Stahl ist d. h. je mehr Coërcitivkraft er besitzt, ja bei sehr hartem Stahle bekommt man oft selbst bei regelmäßigem Striche solche Folgepuncte, weil bei bedeutendem Härtegrade eben die Härte nicht in der ganzen Ausdehnung eines Stabes dieselbe ist. Die Anordnung des Magnetismus bei dem Vorkommen, von Folgepuncten in Stäben läßt sich aus Fig. 243 erklärbar machen bei Magneten, deren Breite unbedeutend ist, liegen sie hinter einander, bei Platten oder dicken Körpern, wozu auch die natürlichen Magnete gehören, können sie sich an den verschiedensten Stellen befinden, und eine Nadel, die man über den einzelnen Puncten eines mit mehreren Polen versehenen Körpers hinführt, muß Stellungen einnehmen, die von ihrer jeweiligen Entfernung von den einzelnen Folgepuncten und der Qualität ihres Magnetismus abhängig sind. Ihre Richtungsänderungen werden um so unregelmäßiger, je weniger symmetrisch die Folgepuncte gelagert sind.

§. 232. Legt man eine Magnetnadel in ihrem Schwerpuncte auf eine Stahlspitze, auf der sie sich in horizontaler Richtung möglichst leicht bewegen kann, oder hängt man sie in ihrem Schwerpuncte an einem Coconfaden auf, so wird sie sich selbst überlassen sich so stellen, daß ihr einer Pol und zwar immer der nämliche in die Gegend von Nord, der andere also gegen Süden zeigt, doch fällt an den verschiedenen Puncten der Erdoberfläche diese ihre Richtung, zu der sie allemal wieder zurückkehrt, wenn sie davon abgebracht wird, im Allgemeinen nicht mit dem astronomischen Meridian zusammen, sondern macht bald nach der einen, bald nach der andern Seite einen Winkel mit demselben. Diese Richtung der Nadel heißt zum Unterschiede von dem astronomischen Meridian, der reinen Südnordrichtung, der magnetische Meridian des Beobachtungsortes und der Winkel, der von den beiden Meridianen gebildet ist, heißt die Declination oder Abweichung, welche eine westliche (+) oder eine östliche (—) ist, je nachdem sich

das Nordende der Nadel auf der einen oder auf der andern Seite des astronomischen Meridians befindet.

Die Declination wechselt von einem Orte der Erde zum andern. In einer Curve, welche gegenwärtig durch das weiße und das caspische Meer, dann durch Persien und Afghanistan etwas westlich von der Westküste Vorderindiens vorbei und durch den westlichen Theil von Neuholland geht und sich dann in dem südlichen Eismeere verliert, fällt der magnetische Meridian mit dem astronomischen zusammen. Die westlich von dieser Curve gelegenen Orte haben eine westliche Declination, die zuerst mit der Entfernung von der Curve wächst, dann abnimmt und endlich verschwindet. Die Puncte, an welchen so zum zweitenmale keine Abweichung beobachtet wird, kann man wieder unter einander verbinden und man erhält so eine zweite Curve, welche durch die Hudsonsbay sowie durch die östlichen Theile von Nord- und Südamerica geht und deren Fortsetzung im nördlichen und südlichen Eismeere sich ohne Zweifel mit den Ausläufern der vorigen Curve verbindet, so daß eine einzige rings um die Erde gehende Curve zum Vorschein kommt. Westlich von dem americanischen Theile der Curve beobachtet man eine östliche Abweichung, die gegen das stille Meer zu größer wird und endlich im asiatischen Zweige wieder verschwindet.

Wie man in der vorerwähnten Curve die Puncte verbindet, an denen keine Abweichung der Magnetnadel beobachtet wird, so kann man auch durch andere Curven diejenigen Puncte vereinen, an welchen die Abweichung 1, 2, 3 ... Grade beträgt, und so wird die Erdoberfläche von verschiedenen Linien durchzogen, deren jede die Puncte gleicher Abweichung enthält und die man Isogonen nennt. Ihre Form ist sehr unregelmäßig, das Gesetz ihrer Vertheilung ist zur Zeit noch unbekannt.

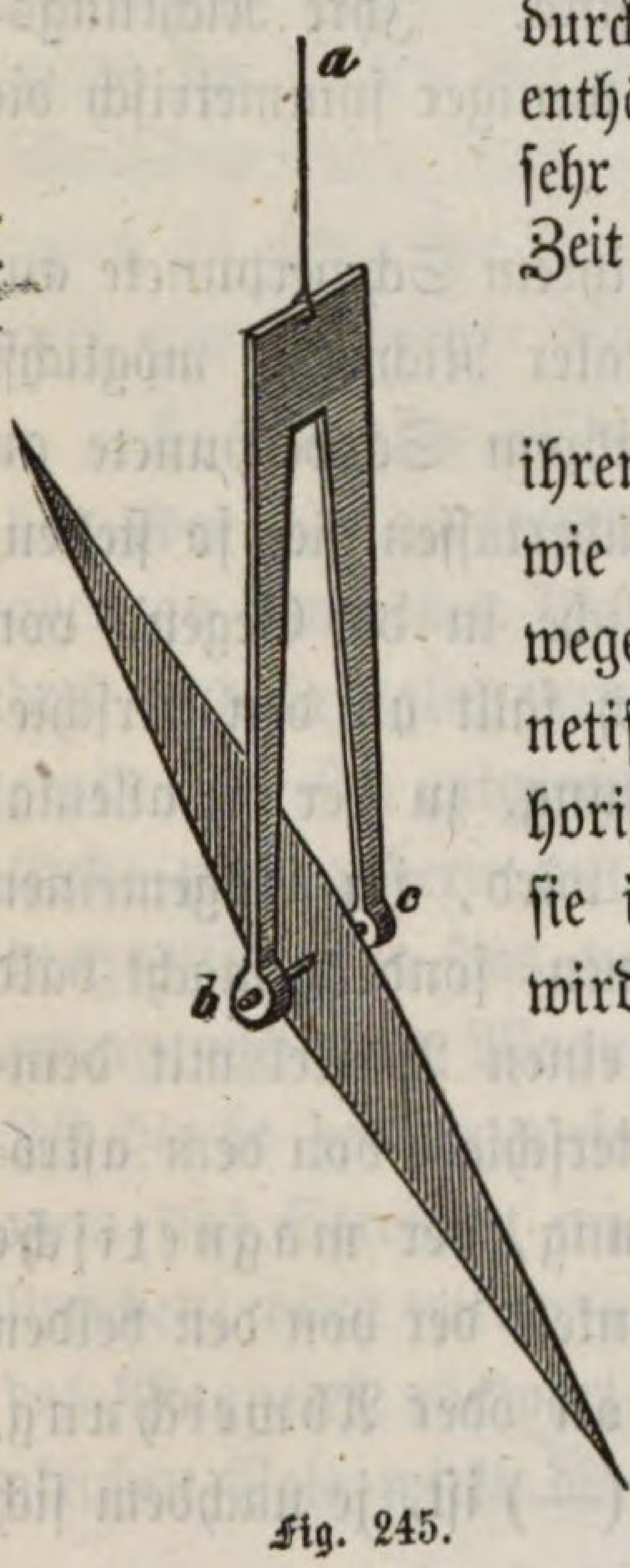


Fig. 245.

§. 233. Hängt man eine Magnetnadel in ihrem Schwerpuncte so an einem Coconfaden a auf, wie es in Fig. 245 dargestellt ist, daß sie sich also wegen der Aufhängung am Coconfaden in den magnetischen Meridian stellen, zugleich aber sich um die horizontale Axe bc drehen kann, so zeigt sie, wenn sie in den verschiedenen Breiten der Erde beobachtet wird, ein Verhalten, das ganz dem einer Nadel entspricht, welche wie dieses in §. 231 Fig. 244 angegeben ist, nach und nach über verschiedenen Puncten eines Magnetstabes steht. In einer in der Gegend des astronomischen Aequators die Erde rings umgebenden Curve, dem magnetischen Aequator, steht die Nadel

horizontal, nördlich davon neigt sich das Nordende, südlich das Südende gegen den Boden und an 2 Puncten, von denen der eine in der Nähe der Hudsonsbay (70° 5′ n. Br. und 99° 5′ w. v. P.), der andere im südlichen Eismeere (75° 5′ s. Br. und 151° 48′ östl. v. P.) liegt, den magnetischen Polen der Erde, ist sie senkrecht, es ist aber in dem ersteren das Nordende, in dem letzteren das Südende nach unten gerichtet. Man nennt den Winkel, den die Nadel mit der Ebene des Horizontes macht, die Neigung oder Inclination.

Der magnetische Aequator verbindet diejenigen Puncte der Erdoberfläche, an denen die Inclination = 0 ist. Von ihm aus gegen die magnetischen Pole hin wird die Neigung immer größer, bis sie endlich in diesen ihr Maximum erreicht. Man kann nun ebenso wie dieses bei den Isogonen geschieht, diejenigen Puncte, welche gleiche Neigung der Nadel zeigen, auf der Karte mit einander verbinden und erhält so die Isoclinen, welche die magnetischen Pole umschließen, jedoch eine unregelmäßige Gestalt haben. Sie sind im magnetischen Sinne etwa das, was die Breitekreise astronomisch sind.

§. 234. Die Analogie zwischen der Einwirkung der Erde und der eines Magnetstabes auf die Stellung einer über deren verschiedene Puncte hingeführten Nadel hat auf den Gedanken geführt, die Erde als einen großen Magnet zu betrachten, dessen Pole sich in der Nähe der astronomischen befinden. Der Magnetismus der Erde ist die Ursache der Stellung der Magnetnadel; es ist jedoch, wie sich aus der unregelmäßigen Gestaltung der magnetischen Curven ergibt, die Vertheilung des Erdmagnetismus keine gleichmäßige und eben so wenig bleibt sie stets dieselbe. Der Erdmagnetismus beschränkt sich jedoch darauf, der Nadel eine Richtung anzuweisen, er geht nicht so weit, dieselbe auch anzuziehen, wie dieses der Magnetstab in der Gegend seiner Pole thut, die Nadel ist nämlich immer so weit von den Erdpolen entfernt, daß man ihre Dimensionen gegen ihren Abstand vom Pole als verschwindend klein betrachten kann. Es zieht nun allerdings der Erdpol den einen Nadelpol an, aber da er auf den andern in entgegengesetztem Sinne wirkt und wegen der gleichen Entfernung beider Nadelpole von ihm Anziehung und Abstoßung gleich sind, so heben sie sich auf, und die Nadel ist daher über der Erdoberfläche in demselben Falle wie über der Mitte des Magnetstabes.

Es wurde oben gezeigt, daß Eisen unter dem Einflusse eines Magnetstabes selbst magnetisch wird, und dasselbe geschieht auch unter der Einwirkung der Erde. Jede Eisenstange, die in der Richtung von Nord nach Süd liegt, wird daher magnetisch sein und an ihrem Nord-

ende kommt derjenige Magnetismus zum Vorschein, der dem Nordmagnetismus der Erde entgegengesetzt ist. Am vollkommensten wird diese Magnetisirung dann sein, wenn die Stange genau die Richtung der Inclinationsnadel (Fig. 245), diejenige also, in welcher der Erdmagnetismus wirkt, besitzt; ist ihre Stellung eine andere, so wird auch der Magnetismus schwächer, wie es das Gesetz von der Zerlegung der Kräfte (§. 32) mit sich bringt. Stellen wir uns z. B. durch die Gerade ab (Fig. 246) die Stärke des Magnetismus vor, welchen eine in der Richtung der Inclinationsnadel liegende Eisenstange bekommt (*Totalintensität*), und ist i der Neigungswinkel der Nadel, so wird ad die Stärke des Magnetismus anzeigen, welchen die Stange bekommt, wenn sie horizontal im magnetischen Meridian liegt (*Horizontalintensität*) und ac gibt den Magnetismus der verticalstehenden Stange an (*Verticalintensität*).

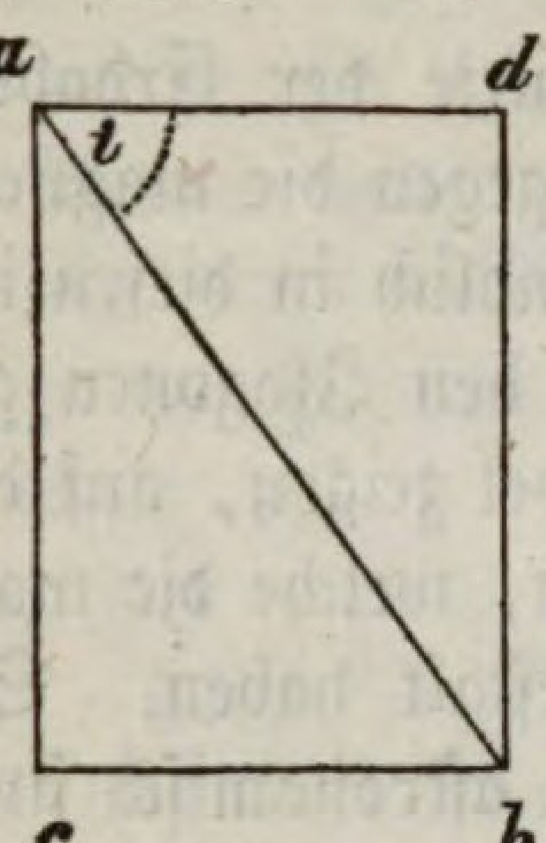


Fig. 246.

Der so in dem Eisen durch die Erde hervorgerufene Magnetismus wird je nach der Coërcitivkraft des Eisens bei einer Aenderung der Stellung der Stange mehr oder weniger dauernd sein, und da das gewöhnliche Eisen stets etwas Coërcitivkraft besitzt, sind auch fast alle Stangen von Eisen, nachdem sie einige Zeit aufbewahrt wurden, mehr oder weniger magnetisch.

Wie der Nordpol in dem ihm gegenüberliegenden Eisenende immer den ihm entgegengesetzten Magnetismus hervorruft, so ist auch der Magnetismus der in der Ruhelage befindlichen Magnetnadel stets so vertheilt, daß das Nordende derselben Südmagnetismus der Erde und umgekehrt anzeigt. Aus diesem Grunde heißt sehr oft, z. B. in Frankreich das Nordende der Magnetnadel Südpol, das Südende Nordpol, während in Deutschland die Benennungen Südende und Südpol, Nordende und Nordpol als identisch angenommen sind.

§. 235. Wenn 2 Magnete auf einander wirken, so hat man immer 2 Magnetismen, die sich anziehen und 2, die sich abstoßen, und die Gesammtwirkung wird eine anziehende oder abstoßende sein, je nachdem die Magnete so gestellt sind, daß die freundlichen Pole sich näher stehen als die feindlichen oder umgekehrt. Könnte man den einen Magnetismus gänzlich aus einem Stabe entfernen und den andern an einem einzigen Puncte concentriren, so würde sich ergeben, daß die Anziehungen wie die Abstoßungen abnehmen, wie das Quadrat der Entfernungen wächst; da aber diese Isolirung nicht möglich ist, hat man

bei zunehmender Entfernung eine scheinbar unregelmäßige Abnahme der Einwirkung; sind jedoch die Magnete im Verhältniß zu ihrer Länge weit von einander entfernt, so nimmt in Folge des Zusammenwirkens beider Magnetismen die Wirkung ab, wie die dritte Potenz des gegenseitigen Abstandes wächst.

Wenn eine Magnetnadel sich in der Ruhelage befindet, so gehört eine gewisse Kraft dazu, sie aus derselben herauszubringen, und die Größe der Veränderung, die dabei mit ihrer Stellung vor sich geht, wird ein Mittel sein, die Größe der störenden Wirkung zu bestimmen. Hat z. B. die Nadel ursprünglich die Stellung ns (Fig. 247) und wirkt der Magnetstab NS auf auf sie ein, so wird N auf s anziehend, auf n abstoßend wirken. In entgegengesetztem Sinne, aber in kleinerer Entfernung wirkt der Pol S. Es sind demzufolge verschiedene Einflüsse auf die Stellung der Nadel thätig, denn der

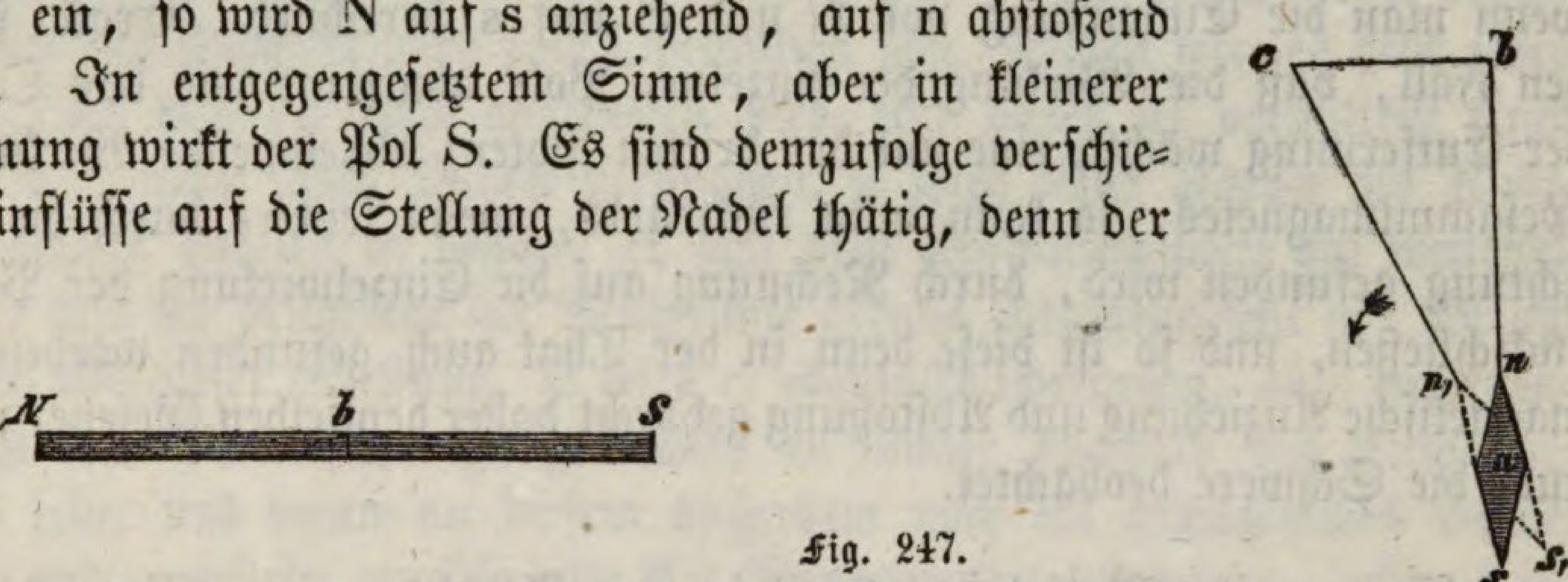


Fig. 247.

Erdmagnetismus hält sie in der Stellung ns fest, während der Magnetstab sie in der Richtung des Pfeiles so lange zu drehen sucht, bis der Pol n seinem Pole S gerade gegenüber steht. Es kommt nun auf das Größenverhältniß beider Wirkungen an, wie viel die Nadel der einen oder andern gehorcht. Für den Fall, daß sich die beiden zu einander verhalten wie ab zu bc, wird dem Satze vom Parallelogramme der Kräfte zufolge die Stellung n_1s_1 zum Vorschein kommen. Je nach der Größe der Wirkung des Stabes wird der Winkel bac verschieden ausfallen, und dieses geschieht, wenn man die Entfernung zwischen Stab und Nadel wechselt. So lange man an einem und demselben Orte und in kurzen Zeitintervallen beobachtet, so lange kann man auch die Stärke des Erdmagnetismus also ab als constant annehmen und durch Beobachtung des Winkels nan_1 die Größe von bc berechnen. Auf diese Weise gelangt man auf experimentellem Wege zu dem Gesetze, nach welchem die Wirkung des Magnetstabes NS mit zunehmender Entfernung abnimmt.

Nimmt man an, die magnetische Anziehung und Abstoßung nehme ab wie das Quadrat der Entfernung wächst, und nimmt man die Pole von Nadel und Stab als den Sitz des jeweiligen Magnetismus an, sind ferner die beiden Magnete wie oben vorausgesetzt wurde, weit von einander entfernt, so kann man die Distanzen Nn = Na und Sn = Sa (Fig. 247) annehmen. S sucht den Pol n in der Richtung des Pfeiles zu drehen und für den Fall, daß diese Wirkung in der Einheit der Entfernung die Größe m habe und mit wachsendem Quadrate der Entfernung abnehme, bekommt man als ihren Werth den Ausdruck $\frac{m}{(Sa)^2}$, welcher sich, wenn der Magnetstab

NS die Länge 2l hat und ba = R ist, in $\frac{m}{(R-l)^2}$ umwandelt. Der Pol N sucht die Nadel auch zu drehen, würde dieses aber in dem entgegengesetzten Sinne thun, seine Wirkung ist also $\frac{-m}{(Na)^2} = \frac{-m}{(R+l)^2}$. Die Gesammtwirkung beider Pole ist daher $\frac{m}{(R-l)^2} - \frac{m}{(R+l)^2} = \frac{4Rl}{(R^2-l^2)^2}$. Ist l im Vergleiche zu R klein, so kann man l^2 gegen R^2 vernachlässigen und $\frac{4Rl}{(R^2-l^2)^2}$ geht über in $\frac{4l}{R^3}$. Die Gesammtwirkung nimmt daher ab, wie die dritte Potenz der Entfernung wächst. Dasselbe Resultat erhält man, wenn man die Einwirkung von N und S auf s berechnet. Ergibt sich für den Fall, daß die Wirkung der einzelnen Pole abnimmt wie das Quadrat der Entfernung wächst, eine mit der dritten Potenz abnehmende Wirkung des Gesammtmagnetes, so kann man rückwärts, wenn letztere durch die Beobachtung gefunden wird, durch Rechnung auf die Einzelwirkung der Pole zurückschließen, und so ist diese denn in der That auch gefunden worden. Die magnetische Anziehung und Abstoßung gehorcht daher demselben Gesetze, welches auch die Schwere beobachtet.

Eine zweite Methode, das Gesetz der Aenderung der Einwirkung des Magnetismus bei verschiedenen Entfernungen zu finden, beruht auf der Coulomb'schen Drehwage. Hängt man eine unmagnetische Nadel an einen Coconfaden, der selbst an einem Knopfe befestigt ist, welcher in horizontaler Richtung so gedreht werden kann, daß der Coconfaden seine Drehungsaxe bildet, so wird sie irgend eine Stellung einnehmen, welche sich ändert, wenn der Knopf und mit ihm der Faden gedreht wird, denn sonst müßte der letztere eine Windung erleiden, wie sie z. B. bei dem Spinnen entsteht. Ist dagegen die Nadel magnetisch, so stellt sie sich in der Richtung des magnetischen Meridians ein und dreht man nun oben den Knopf, so windet, wenn die Nadel festgehalten wird, der Faden sich um sich selbst; bleibt aber die Nadel frei, so sucht der Faden, um sich nicht aufzuwinden, die Nadel mit sich herumzuführen, während diese in ihrer Lage, dem magnetischen Meridian, bleiben möchte. Das Endresultat wird sein, daß die Nadel etwas aus dem magnetischen Meridian tritt, und ein Theil der Drehung (Torsion) des Fadens noch vorhanden bleibt. Je größer der wirkende Magnetismus also die Kraft ist, vermöge welcher die Nadel im magnetischen Meridian zu bleiben strebt, um so mehr muß sich der Coconfaden drehen, um eine gleiche Ablenkung von einer bestimmten Anzahl von Graden hervorzubringen. Da man nun weiß, daß eine doppelt so große Kraft dazu gehört, um der doppelten Drehung des Fadens Gleichgewicht zu halten, daß also der Drehungswiderstand der Drehung proportional wächst, so ist es leicht, die Größe der Kraft zu bestimmen. Hat man zuerst untersucht, wie viel der Faden gedreht werden muß, um in der unter dem Einflusse des Erdmagnetismus allein stehenden Nadel eine bestimmte Ablenkung zu erzielen, und untersucht man dieses bei Anwesenheit

eines Magnetstabes und bei verschiedenen Entfernungen desselben, so erhält man die Abhängigkeit der magnetischen Wirkung wie im vorigen Falle.

Bringt man eine im magnetischen Meridian stehende, leicht bewegliche Nadel aus dieser ihrer Gleichgewichtslage, so wird sie, wenn man sie ausläßt, in dieselbe zurückkehren und bis sie dort anlangt eine gewisse Geschwindigkeit bekommen haben. Die Folge davon ist eine Oscillation, die genau denselben Gesetzen gehorcht, welche auch das Pendel beobachtet. Betrachtet man nämlich die 2 in der Nadel befindlichen Magnetismen als gesondert und nimmt man die beiden Pole als ihre Repräsentanten, so wird das Nordende der Nadel gegen Nord gerichtet sein und wenn man es aus seiner Ruhelage bringt, dahin zurückzukehren suchen. Hier muß durch die Wirkung des Magnetismus genau dasselbe eintreten, was bei einem Pendel die Schwere verursacht, und das Resultat wird eine Oscillation sein. Setzen wir, es gebe einen Körper, der von der Erde abgestoßen wird, und dieser sei vermittelst eines Fadens mit einem festen Puncte verbunden, so wird dieser Körper als Ruhelage diejenige haben, in welcher er von dem Erdmittelpuncte am weitesten entfernt, also der Ruhelage der Pendellinse gerade entgegengesetzt ist. Bringt man ihn aus dieser Stellung, so wird er ebenfalls schwingen, aber entgegengesetzt zu den Pendelschwingungen wird er immer oberhalb des Aufhängepunctes sein, und wenn an diesem außerdem noch ein gewöhnliches Pendel befestigt wäre, würde man so eine Art Doppelpendel bekommen, dessen beide Linsen sich um ihre Ruhelage hin und her bewegen. In dem Falle eines solchen idealen Doppelpendels befindet sich die Magnetnadel, deren einer Pol von dem näheren (also maaßgebenden) Erdpole angezogen, deren anderer abgestoßen wird. Die Ursache der Oscillationen der Nadel ist also der Magnetismus der Erde, von seiner Stärke ist die Geschwindigkeit der Oscillation abhängig, und aus dieser kann nach den Gesetzen der Pendelbewegung auf den Erdmagnetismus zurückgeschlossen werden. Stellt man, nachdem man zuerst den Erdmagnetismus bestimmt hat, einen Magnetstab so auf, daß auch er die Nadel bei ihren Bewegungen beeinflußt, so erhält man die Wirkung des Erdmagnetismus und des Magnetstabes zusammen, und da man erstere kennt, auch die letztere. Wiederholt man endlich den Versuch in verschiedenen Entfernungen des Magnetstabes von der Nadel, so erhält man auch die Abhängigkeit seines Einflusses von dieser Entfernung.

Läßt man eine Nadel oscilliren, so ist ihre Bewegung wie die eines Pendels. Nach der in §. 81 angegebenen Formel ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ oder } g = \frac{\pi^2 l}{t^2},$$

wenn t, g und l die Schwingungszeit, die Größe der Schwerkraft und die Pendellänge bedeuten. Geht man auf die schwingende Magnetnadel über, so behalten t und l ihre Bedeutung, g wandelt sich in die magnetische Stärke der Erde M um. Es wird daher $M = \frac{\pi^2 l}{t^2}$. Wirkt außer dem Erdmagnetismus noch ein Magnetstab in demselben Sinne, so wird die Schwingungszeit zu t_1 abgekürzt, da M in M + m übergegangen ist, wenn m die Wirkung

des Stabes bedeutet. Es wird daher $M + m = \frac{\pi^2 l}{t_1{}^2}$ und $m = \frac{\pi^2 l}{t_1{}^2} - \frac{\pi^2 l}{t^2}$. Bringt man nun den Magnetstab in eine andere Entfernung von der Nadel, so ist seine Wirkung m_1, die Oscillationszeit t_2 und $m_1 = \frac{\pi^2 l}{t_2{}^2} - \frac{\pi^2 l}{t^2}$. Will man das Verhältniß der den verschiedenen Entfernungen des Stabes entsprechenden Wirkungen finden, so hat man

$$\frac{m}{m_1} = \frac{\frac{\pi^2 l}{t_1{}^2} - \frac{\pi^2 l}{t^2}}{\frac{\pi^2 l}{t_2{}^2} - \frac{\pi^2 l}{t^2}} = \frac{\frac{1}{t_1{}^2} - \frac{1}{t^2}}{\frac{1}{t_2{}^2} - \frac{1}{t^2}} = \frac{t^2 (t^2 - t_1{}^2)}{t_1{}^2 (t^2 - t_2{}^2)}.$$

§. 236. Die im vorigen Paragraphe angeführten Untersuchungen geben die Mittel an die Hand, die Stärke mehrerer Magnete unter einander zu bestimmen, denn wenn man das Verhältniß jedes derselben zum Erdmagnetismus kennt, ist es leicht, die gegenseitigen Beziehungen zu ermitteln. Anders gestaltet sich die Frage, wenn man nicht die sämmtlichen zu vergleichenden Magnete zur Hand hat, denn hier ist nothwendig, ein bestimmtes Maaß anzugeben, auf welches alle zu messenden Kräfte reducirt werden können. So kann man z. B. auch das Längenverhältniß mehrerer Stäbe unter einander bestimmen, man kann angeben, daß der eine zwei- oder dreimal so lang sei als der andere; aber dieses genügt noch nicht, die Frage zu beantworten, wie lang denn eigentlich der eine sei, und es ist nothwendig, sich nach einer allgemein üblichen Längeneinheit umzusehen und die Dimension des Körpers als Vielfaches derselben anzugeben. Wie man also bei dem Bestimmen räumlicher Verhältnisse sich der Länge des Meters oder des Fußes als einer Ausgangsstation bedient, wie man sich bei Temperaturangaben auf gewisse Einheiten, die Grade, bezieht, so ist dieses auch für den Magnetismus nothwendig. Wäre der Erdmagnetismus allenthalben gleich stark, so wäre es am einfachsten, das Verhältniß des Magnetismus eines Magnetstabes zu demselben anzugeben, aber die Intensität des Erdmagnetismus wechselt nicht nur von Ort zu Ort, sondern ist auch an einem und demselben Puncte fortwährend eine andere. Man könnte sich nun verständigen, irgend einen beliebigen Stab als Normalmagnet zu betrachten und seine Stärke als Einheit anzunehmen, wie man dieses auch hinsichtlich der Längenmaaße thut, aber die magnetische Vertheilung kann sich in demselben Stabe verändern, sie ist nicht so constant wie seine Länge.

Wie in §. 82 gezeigt wurde, läßt sich die Größe der Schwerkraft aus der Bewegung des Pendels ermitteln, wenn dessen Länge und Oscillationsgeschwindigkeit bekannt sind. Der Magnetismus bewirkt ebenfalls Schwingungen der Magnetnadel, die denselben Gesetzen unterworfen sind wie die Bewegungen des Pendels, es muß also der Magnetismus sich in analoger Weise ermitteln lassen, wenn man die Oscillationen einer Magnetnadel untersucht, deren Oscillationsmittelpunct bekannt ist. Hängt man an einen horizontalen Hebelarm von 1 Millimeter Länge einen Körper von der Schwere eines Milligrammes, so sucht letzterer dem Hebelarm eine senkrechte Richtung zu geben, übt eine gewisse Drehung darauf aus. Die Geschwindigkeit, welche ein Körper bei freiem Falle am Ende der ersten Secunde erlangt, ist 9808.8 Millimeter, wäre die Schwerewirkung der Erde geringer, so würde auch die Fallgeschwindigkeit abnehmen, und hätte erstere nur den 9808.8ten Theil, so wäre letztere auch nur 1 Millimeter. Unter der Wirkung einer solchen Kraft wäre natürlich auch der Druck, den ein Körper von der Masse eines Milligrammes auf seine Unterlage ausübt, ebensoviel geringer und das Gleiche wäre auch bei der Drehung der Fall, die an einem Hebelarme von 1 Millimeter Länge zum Vorschein käme. Steht eine Magnetnadel senkrecht auf der Richtung des magnetischen Meridians, so befindet sie sich in Beziehung auf den Magnetismus der Erde in derselben Lage, wie ein horizontaler Hebelarm an dem ein Gewicht hängt in Beziehung auf die Schwerewirkung, und wenn der Erdmagnetismus auf sie eine drehende Wirkung ausübt, welche eben so groß ist als die, welche die Masse eines Milligrammes an einem 1 Millimeter langen Hebelarm unter dem Einflusse einer Kraft, die dem fallenden Körper in einer Secunde die Geschwindigkeit von 1 Millimeter ertheilt, so hat der Erdmagnetismus nach der Bestimmung von Gauß die Intensität 1.

Die Intensität des Erdmagnetismus ist an den verschiedenen Puncten der Erdoberfläche verschieden. Sie nimmt im Allgemeinen von dem magnetischen Aequator aus gegen die Pole zu, ohne jedoch weder in dem einen noch in dem andern die äußersten Werthe zu erlangen. Die größte Intensität befindet sich im südlichen Eismeere, südlich von Neuholland etwa im 60° s. Br. Im Norden befinden sich zwei Puncte großer Intensität, in denen jedoch der Magnetismus keine solche Stärke erlangt wie im Süden, und von welchen der eine in Sibirien etwas nordwestlich von Jakutsk, der andere in Nordamerica etwas südwestlich von dem Inclinationspole sich befindet. Das Minimum der Stärke des Erdmagnetismus ist ziemlich nahe bei St. Helena. Das

Verhältniß zwischen diesem Minimum und dem (südlichen) Maximum beträgt etwa 1 zu 2,5. Um die Extreme herum lagern sich Puncte, deren Intensität von der des Extrems um so verschiedener ist, je weiter sie von demselben entfernt sind, und wenn man alle Puncte von gleicher Intensität mit einander verbindet, so erhält man Ringe, welche die extremen Puncte einschließen. Man nennt diese Curven gleicher Intensität Isodynamen; sie haben Aehnlichkeit mit den Isoclinen, ohne jedoch mit ihnen identisch zu sein.

Als A. v. Humboldt im Anfange dieses Jahrhunderts Südamerica bereiste, bestimmte er auch die dortige Intensität des Erdmagnetismus und setzte den geringsten Werth derselben, den er dort (in Peru) fand, als Einheit, worauf er die Resultate von an andern Orten gemachten Beobachtungen damit verglich. Längere Zeit galt die Peruintensität als Einheit, nach ihr sind auch jetzt noch viele Isodynamenkarten eingerichtet, und erst später, als die Veränderlichkeit des Erdmagnetismus näher bekannt wurde und in Peru die von Humboldt beobachtete Einheit nicht mehr zu finden war, machte sich das Bedürfniß einer beständigen Größe geltend, dem dann durch Gauß abgeholfen wurde. Man geht von der Humboldt'schen oder relativen Scala auf die Gauß'sche oder absolute über, wenn man die Angaben der ersteren mit 3.4941 multiplicirt.

§. 237. Das Eisen zeigt die magnetischen Erscheinungen sehr leicht, ist aber darum nicht der einzige magnetische Stoff. So hat schon Coulomb gezeigt, daß außer Eisen noch Nickel, Kobalt und andere Körper angezogen werden, während Brugmann die Entdeckung machte, daß ein dünnes Stäbchen von Wismuth sich zwischen den Polen eines starken Hufeisen-Magnets nicht so richtet, daß die größte Axe des Stäbchens in die Verbindungslinie beider Pole fällt, sondern so, daß sie senkrecht auf dieser Richtung ist. Das Wismuthstäbchen steht nicht axial wie eine Eisennadel, sondern äquatorial. Faraday hat unter Anwendung starker Electromagnete, von deren Herstellung weiter unten gesprochen werden soll, gefunden, daß die sämmtlichen Körper sich in 2 Gruppen theilen, von denen sich die einen dem Eisen, die andern dem Wismuth analog verhalten. Er nennt die ersteren paramagnetische, die letzteren diamagnetische Körper. Paramagnetische Körper sind: Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Platin, Flußspath, Holzkohlen, manche Sorten Papier, Siegellack u. s. w.; diamagnetisch sind: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Quecksilber, Bergkrystall, Alaun, Wasser u. s. w. Unter den Gasen und Dämpfen ist der Sauerstoff paramagnetisch, die übrigen sind diamagnetisch, der Stickstoff ist zwar diamagnetisch, aber in einem so geringen Grade, daß man ihn fast als neutral betrachten kann. Bringt man einen paramagnetischen Körper in eine gleich starke paramagnetische Flüssigkeit, so verhält er sich, wenn

er der Wirkung eines Magnetes ausgesetzt wird, indifferent, in einer stärker paramagnetischen stellt er sich äquatorial, in einer schwächeren axial. Auch bei den Krystallen beobachtet man magnetische Wirkungen. Bei den optisch einaxigen Krystallen stellt sich die optische Axe entweder axial oder äquatorial, und es ist dieselbe daher zugleich eine magnetische, wie sie auch (§. 193) eine thermische ist. Bei den Krystallen des tesseralen Systemes, also bei denen, welche das Licht einfach brechen, ist eine Auszeichnung der einen Axe vor den andern nicht vorhanden.

Die Wärme ist im Allgemeinen als dem Magnetismus hinderlich zu betrachten. Durch Erhitzen vermindert sich die Kraft eines Stahlmagneten, und weißglühendes Eisen zeigt keinen Magnetismus mehr. Nickel wird bei 350° unmagnetisch, Mangan schon bei 15—20°.

Dadurch, daß man die magnetische Wirkung des Sauerstoffes aufgefunden hat, ist wenigstens einiges Licht über das sonst so räthselhafte Gebiet des Erdmagnetismus verbreitet worden, wenn wir auch noch weit entfernt sind, eine vollständige Theorie desselben zu besitzen.

Man kann die Erde als einen großen Magnet betrachten, dem man das Vermögen die Nadel zu richten, zuschreiben muß, und dessen Pole sich in der Nähe der astronomischen befinden. Lamont nimmt an, daß der heiße Erdkern eine feste paramagnetische Substanz mit sehr unebener Oberfläche sei. Von einem Pole zum andern geht über die ganze Erde die Atmosphäre, die neben dem neutralen Stickstoff noch Sauerstoff enthält, der etwa in derselben Weise thätig ist wie ein magnetisches Blech, denn wie er zwischen den Polen eines künstlichen Magnetes paramagnetisch wird, so muß dieses auch der Fall sein, wenn er sich zwischen den Polen des Erdmagnetes befindet. Diese Hülle von Sauerstoff kann ebenfalls nicht ohne Einwirkung auf die Nadel sein, aber ihre Einwirkung ist nicht unveränderlich und daher muß auch die Stellung der Nadel, insoweit sie von der Atmosphäre abhängt, einem Wechsel unterworfen sein. Wird die Luft an der der Sonne gegenüberstehenden Seite der Erde erwärmt, so dehnt sie sich aus, die Atmosphäre wird an der erwärmten Stelle dadurch höher, und oben fließt die hinausragende Luft nach den Seiten ab, wo die Erwärmung nicht so bedeutend war. Dadurch wird die Menge der magnetischen Substanz und damit die magnetische Wirkung, welche auch durch die Temperatur beeinflußt wird, an der einen Stelle vermindert, an der andern wird sie vermehrt, und dasjenige Nadelende, das von dem nächstgelegenen Pole angezogen wird, geht nach der Richtung, in welcher die Aufhäufung von Luft stattfindet. Am Morgen liegen die wärmeren Gegenden östlich, weil bei ihnen die Tageszeit weiter vorgerückt ist, die Ansammlung der Luft findet im Westen statt, weil dort noch Nacht ist und darum geht auf der Nordhalbkugel der Erde das Nordende der Nadel als das tonangebende gegen Westen, während im Süden das Südende diese Bewegung ausführt.

Die Electricität.

§. 238. Wenn man eine Stange von Glas oder Siegellack an einem Tuche reibt, so erhält sie dadurch die Eigenschaft, leichte Körper, wie Papierspäne, Kügelchen von Hollundermark u. s. w. anzuziehen und nach einiger Zeit wieder abzustoßen, und man unterscheidet diesen zeitweiligen Zustand von dem gewöhnlichen dadurch, daß man sagt, die Stange sei durch das Reiben *electrisch* geworden, indem man annimmt, es sei jetzt ein Etwas darin thätig, das man *Electricität* nennt. Das Wort *Electricität* rührt von dem griechischen Namen des Bernsteines (ἤλεκτρον) her, an dem dieses Verhalten zuerst entdeckt wurde; doch besitzen außer Glas, Harz und Bernstein noch eine größere Anzahl von Körpern, wie Schwefel, Gutta-Percha, Wolle, Seide, Elfenbein u. s. w. die gleiche Eigenschaft.

§. 239. Unterwirft man andere Körper wie z. B. Metalle, die man in der Hand hält, demselben Verfahren, so zeigen sie ungleich der Glasstange die Anziehung nicht, und man hat daher in früherer Zeit geglaubt, daß sie nicht electrisch gemacht werden können; im Jahre 1727 hat aber ein englischer Physiker, *Gray* gefunden, daß der Versuch auch bei den Metallen gelinge, wenn man sie so in eine Glasröhre steckt, daß sie während des Reibens mit der Hand nicht in Berührung kommen, so daß also die Röhre als Handhabe dient. Während jedoch der electrisch gemachte Glasstab nur an der geriebenen Stelle seine Anziehung zeigt, findet man diese an dem nach der eben angegebenen Weise behandelten Metalle an jedem Puncte. Die Electricität geht mithin in dem Metalle von einer Stelle zur andern, bei dem Glase, Harze u. s. w. dagegen nicht, und es unterscheidet sich das Verhalten der beiden Klassen von Körpern in ähnlicher Weise wie das der guten und der schlechten Wärmeleiter (§. 214), denn wenn man einen schlechten Wärmeleiter an irgend einer Stelle erwärmt, so geht die Wärme nur schwierig auf andere Puncte übrig, während dieses bei den guten Leitern sehr rasch geschieht; das Metall ist daher ein guter Leiter für die Electricität, das Glas ein schlechter.

Das Vermögen, die Electricität zu leiten, wechselt bei den verschiedenen Körpern außerordentlich, und während die Metalle dasselbe in hohem Grade besitzen, kommt es denjenigen Körpern, welche ohne

weitere Vorsichtsmaßregeln durch Reibung electrisch werden, fast gar nicht zu, so daß man sie, wenn auch nicht vollkommen richtig, Nichtleiter der Electricität zu nennen pflegt. Zwischen beiden Extremen stehen die sogenannten Halbleiter, von denen sich die einen mehr den Leitern, die andern mehr den Nichtleitern nähern.

Der Unterschied zwischen dem Verhalten, welches Leiter und Nichtleiter der Electricität bei dem Reiben zeigen, beruht darauf, daß da bei dem Leiter die erregte Electricität sich alsbald über den ganzen Körper verbreitet, sie bei der Berührung mit der Hand auf diese, und weil der menschliche Körper leitet, durch denselben in die Erde übergeht, wo sie wegen deren Größe verschwindet. Bei dem Nichtleiter geht die Electricität für sich nicht über die geriebene Stelle hinaus und kann darum längere Zeit an derselben nachgewiesen werden. Fährt man dagegen mit der Hand über die electrische Fläche, so geht auch die Electricität von der letzteren weg. Wird ein Leiter vor dem Reiben in ein Glasrohr gesteckt, so kann die Electricität nicht über das Glas weg und ebensowenig gelingt dieses durch die trockene Luft, von welcher der Körper außerdem umgeben ist, und welche die Electricität auch nicht leitet. Da nun der Leiter rings nur von Nichtleitern berührt wird und die Electricität daher verhindert ist, fortzugehen, kann auch er die Anziehung zeigen. Ist ein Leiter von lauter Nichtleitern umgeben, so daß für die auf ihm befindliche Electricität kein Weg zur Erde offen ist, so nennt man ihn isolirt.

§. 240. Hängt man ein Korkkügelchen an einem Seidenfaden auf, so ist es isolirt, weil weder die Seide noch die umgebende Luft, wenn dieselbe trocken ist, die Electricität leiten. Hält man nun dem Kügelchen auf einige Entfernung eine geriebene Glasstange entgegen, so wird es von dieser angezogen, nach kurzer Berührung aber wieder abgestoßen, und wenn man es mit der Glasstange verfolgt, so zeigt sich deutlich, daß es derselben auszuweichen sucht. Nähert man nun dem nämlichen Kügelchen eine geriebene Stange von Siegellack, so wird es angezogen, gleich darauf wieder abgestoßen, und nun wieder von dem Glase angezogen. Hält man zu beiden Seiten des Korkkügelchens auf der einen eine geriebene Glasstange, auf der andern eine geriebene Siegellackstange, so geht es abwechselnd von der einen zur andern. Haben zwei Korkkügelchen die nämliche Stange berührt, so stoßen sie sich ab, sie ziehen sich aber an, wenn das eine mit dem Glase, das andere mit dem Siegellack in Berührung war, wenn aber diese Kügel-

chen sich untereinander berührt haben, so zeigen sie nicht ferner mehr eine electrische Erscheinung, es ist hiezu eine wiederholte Berührung mit den Stangen nöthig.

Hieraus ergibt sich, daß der Zustand des geriebenen Glases ein anderer ist als der des Siegellacks, und wie man aus den Anziehungen und Abstoßungen der Magnete auf zwei entgegengesetzte Magnetismen schließt, so nimmt man hier zweierlei sich entgegengesetzte, den Magnetismen analog wirkende Electricitäten an. Man ist übereingekommen, die Glaselectricität + oder positive, die Harzelectricität — oder negative zu nennen. Das Glas zeigt nach dem Reiben an jeder geriebenen Stelle die nämliche Electricität und dasselbe ist auch bei dem Harze der Fall, man findet hier nicht wie bei dem Magnete den Gegensatz zwischen den beiden Enden. Das Korkkügelchen, das von der einen oder der andern Stange berührt worden ist, zeigt auf seiner ganzen Ausdehnung dieselbe Electricität wie die Stange, und diese wird durch öftere Wiederholung des Versuches mehr und mehr erschöpft. Daraus ergibt sich ein zweiter Unterschied zwischen Magnetismus und Electricität; letztere kann von dem einen Körper auf den andern übergehen, was bei dem Magnetismus nicht der Fall ist.

§. 241. Ist ein Korkkügelchen oder ein anderer leitender leichter Körper an einem Seidenfaden aufgehängt und nähert man ihm eine geriebene Glasstange, so wird es angezogen; wenn aber wie bei dem Magnetismus der Satz gilt, daß Ungleichartiges sich anzieht, so muß, weil die Glasstange positiv ist, in dem Korke negative Electricität sein. Nähert man dem Kügelchen eine geriebene Siegellackstange, so wird es wieder angezogen, und derselbe Schluß führt auf die ursprüngliche Anwesenheit von positiver Electricität in dem Kügelchen. Es sind also in demselben beide Electricitäten vorhanden und der Umstand, daß zwei Körper im natürlichen Zustande gar keine Einwirkung auf einander ausüben, lehrt, daß wenn beide Electricitäten in einem Körper vorhanden sind, sie sich neutralisiren können und es bei dem gewöhnlichen Zustande der Körper wirklich thun.

Ist (Fig. 248) a die an einem Seidenfaden hängende Kugel, b eine geriebene (negativ) electrische Siegellackstange, so wirkt die Electricität der letzteren vertheilend auf die Electricitäten der Kugel, die positive Electricität wird angezogen, begibt sich also auf die der Stange gegenüberstehende Seite, während die negative Electricität sich möglichst weit entfernt. Die Siegellackstange wirkt auf die positive Seite der

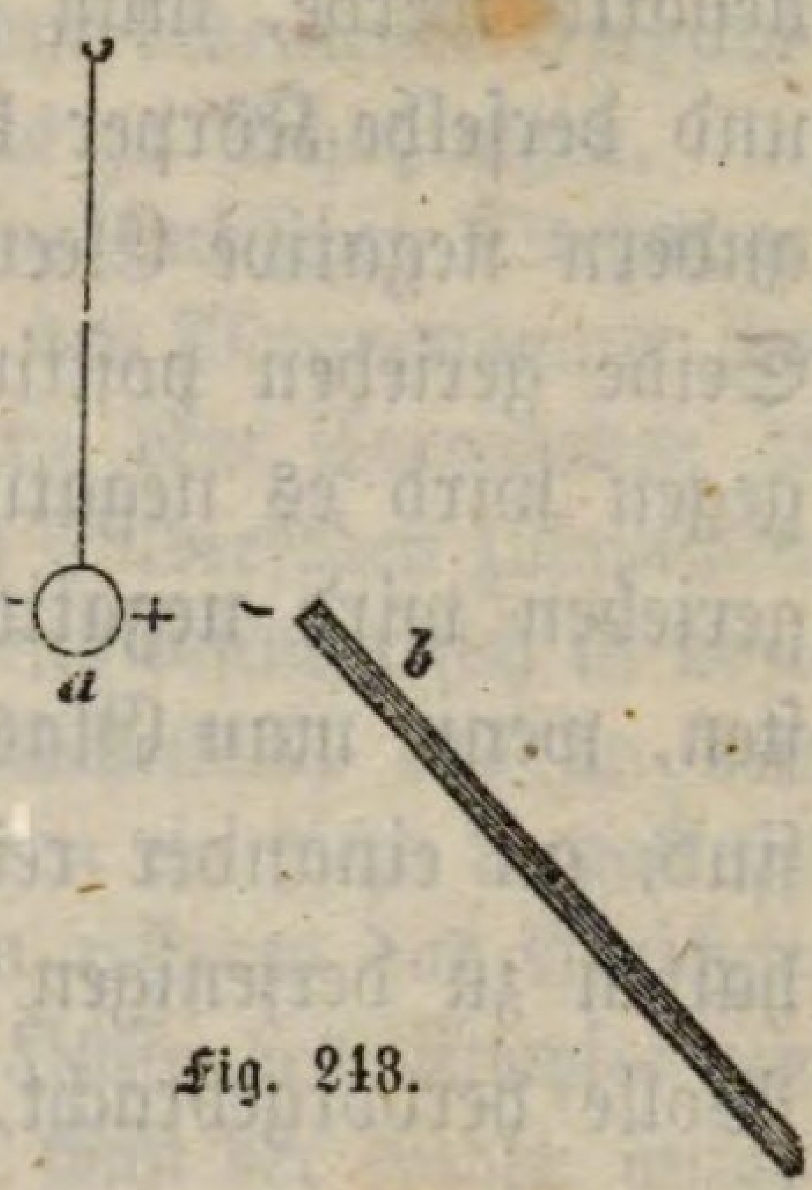


Fig. 218.

Kugel aus geringerer Distanz als auf die negative, es muß also die der ersteren entsprechende Wirkung vorherrschen, es erfolgt Anziehung. Ist darauf die Berührung erfolgt, so neutralisirt die positive Electricität der Kugel einen Theil der negativen des Siegellacks, dafür geht negative Electricität auf die Kugel über und der Vorgang endet damit, daß das Verhältniß der positiven Electricität zur negativen in der Kugel sowohl als in dem berührten Theile der Siegellackstange dasselbe ist. In beiden Körpern wird nun die negative Electricität um so mehr vorherrschen, je weniger beträchtlich die Kugel im Verhältniß zu dem geriebenen Theile der Stange ist. Weil jetzt in beiden Körpern die negative Electricität die stärker vertretene ist, muß eine Abstoßung erfolgen, die Kugel wird aber von einer (positiven) Glasstange angezogen, wo der Austausch im entgegengesetzten Sinne stattfindet. Dieser ganze Vorgang der Anziehung und der darauffolgenden Abstoßung beruht darauf, daß die Electricitäten sich auf der Kugel bewegen können. Diese Beweglichkeit der Electricitäten ist aber den Leitern derselben eigen, und wenn man daher die (leitende) Korkkugel durch eine Schellackkugel ersetzt, so gewahrt man das Spiel der abwechselnden Anziehungen und Abstoßungen nicht. Wäre die Kugel nicht an einem (isolirenden) Seidenfaden, sondern an einem (leitenden) Lein- oder Baumwollfaden aufgehängt, so würde dadurch der von der Siegellackstange angezogenen positiven Electricität der Erde ein Weg zu dem Siegellack geöffnet, während andererseits die negative Electricität sich auf demselben Wege entfernen könnte. Jetzt wäre der nämliche Fall, als wäre die Kugel, der ja die Electricität der ganzen Erde zu Gebot steht, unerschöpflich an positiver Electricität, sie ginge von einem Puncte der Siegellackstange zum andern, überall dahin, wo noch freie negative Electricität ist, und eine Abstoßung könnte daher in diesem Falle nicht erfolgen.

Wenn in jedem Körper im gewöhnlichen Zustande die beiden Electricitäten sich neutralisiren und nach dem Aneinanderreiben von zwei Körpern der eine derselben mehr von der einen Electricität zeigt als von der andern, so muß die entgegengesetzte Electricität auf dem andern Körper mehr angehäuft sein. Wird also der eine durch Reiben positiv, so muß der andere negativ sein. Welcher Gegenstand positiv, welcher

negativ werde, muß erst durch den Versuch ermittelt werden, und ein und derselbe Körper kann mit dem einen Reibzeuge positive, mit einem andern negative Electricität bekommen. So wird Glas mit Wolle oder Seide gerieben positiv (diese letzteren also negativ), mit Katzenpelz dagegen wird es negativ, ein schwarzes seidenes Band mit einem weißen gerieben wird negativ u. s. w. Man macht diesen Versuch am einfachsten, wenn man Glasscheiben, die mit der Prüfungssubstanz überzogen sind, an einander reibt, und die erhaltene Electricität aus ihrem Verhalten zu derjenigen bestimmt, welche man an Glas durch Reiben mit Wolle hervorgebracht, von der man also weiß, daß sie positiv ist.

§. 242. Die Eigenschaft der electrischen Körper, solche Gegenstände, welche ihnen gleichnamig electrisch sind, abzustoßen und von ihnen abgestoßen zu werden, läßt sich als ein Mittel benützen, die Electricität selbst ihrer Stärke nach zu beurtheilen, und es haben die bezüglichen Beobachtungen gezeigt, daß die Anziehungen und Abstoßungen abnehmen wie das Quadrat der Entfernungen wächst; es zeigt sich also hier dasselbe Gesetz wie bei dem Magnetismus.

Die einfachste Vorrichtung zur Bestimmung der electrischen Wirkung besteht aus einem Kreisbogen von Elfenbein, der an einer verticalen Seite des electrischen Körpers oder an einem darüber hervorragenden senkrechten und aus leitender Substanz bestehenden Stäbchen befestigt ist. In dem Mittelpuncte dieses Kreisbogens ist ein Baumwollfaden befestigt, an welchem eine leichte Kugel aus Hollundermark hängt. Die Electricität theilt sich der kleinen Hollundermarkkugel mit und der Faden wird von dem electrischen Körper um so mehr aus der ihm durch die Schwere angewiesenen senkrechten Stellung gebracht, je stärker die Electricität ist. Die Größe dieser Ablenkung erkennt man an dem Kreisbogen. Empfindlicher ist das sogenannte Strohhalm- oder Goldblatt-Electrometer. Zwei leicht bewegliche in einem Glasgefäße befindliche feine Strohhalme oder Streifen von Goldblatt a (Fig. 249) stehen mit dem Metallknopfe b in leitender Verbindung, sind aber durch das Glas des Gefäßes und die umgebende Luft isolirt. Berührt man den Knopf b mit einem electrischen Körper, so theilt sich dessen Electricität dem Knopfe sowohl als auch den Strohhalmen mit, und weil letztere, da sie dadurch gleichnamig electrisirt werden, sich abstoßen, so kann man an dem Elfenbeinbogen c erkennen, ob die thätige Electricität schwächer oder stärker ist. Diese einfachen und

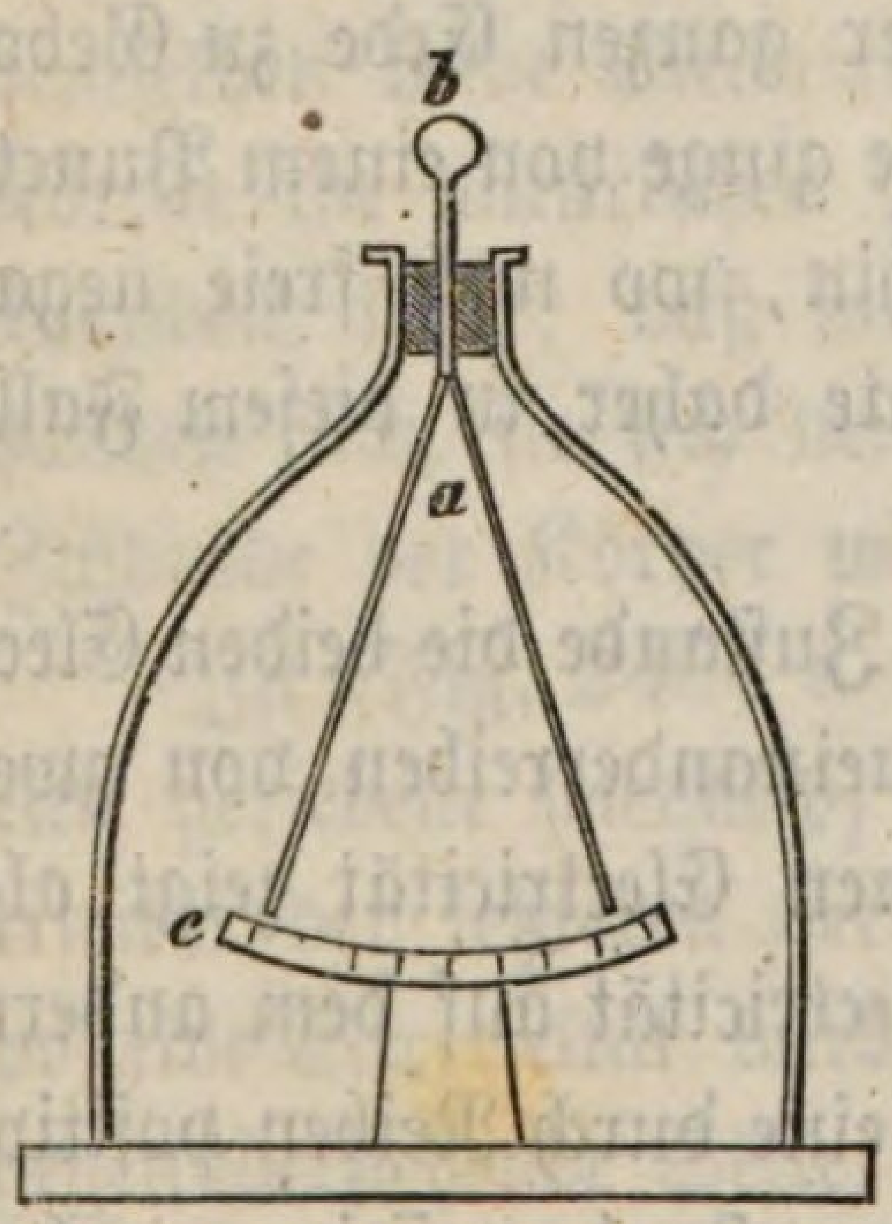


Fig. 249.

allgemein üblichen Apparate haben übrigens weder eine bedeutende Empfindlichkeit noch hohe Genauigkeit; sie berechtigen höchstens zu Schätzungen.

Für feinere Versuche bedient man sich der Coulomb'schen Drehwage, welche (§. 235) auch in den Untersuchungen über den Magnetismus ihre Anwendung findet. Hier hängt ein dünner Silber- oder Coconfaden an einem Knopfe, der sich um seine Axe, welche mit dem Silberfaden zusammenfällt, drehen läßt. Am untern Ende des Silberfadens befindet sich in horizontaler Richtung ein ganz dünnes Stäbchen von Schellack, das an dem einen Ende ein vergoldetes Kügelchen, an dem andern ein nicht vergoldetes trägt, welches letztere nur die Bestimmung hat, dem ersteren das Gleichgewicht zu halten. Dreht man den Silberfaden mit Hülfe des Knopfes um seine Axe, so dreht sich der Schellack mit ihm, weil sonst der Faden aufgewunden würde. Wenn man nun die vergoldete Kugel electrisch macht und in ihre Nähe einen electrischen Körper bringt, so ist ebenso wie bei dem Magnetismus eine Anziehung oder eine Abstoßung thätig, und diese können dadurch gemessen werden, daß sich der Faden um mehr oder weniger winden muß, wenn die gleiche Entfernung oder Annäherung des electrischen Körpers und der Kugel erzielt werden soll.

§. 243. So lange sich ein Körper im natürlichen Zustande befindet, so lange also die beiden Electricitäten sich gegenseitig neutralisiren, sind dieselben wahrscheinlich durch seine Masse hindurch gleichmäßig verbreitet; enthält der Körper aber freie Electricität, so werden ihre einzelnen Theile, da sie sich gegenseitig abstoßen, sich so weit von einander wegbegeben als es ihnen möglich ist, und da sie, wenn der Körper isolirt ist, nicht über dessen Oberfläche hinauskönnen, breiten sie sich auf derselben aus und bleiben nicht in der Masse desselben. Wird eine hohle mit einem Loche versehene electrische Metallkugel durch dieses Loch an ihrer Innenseite mit einem isolirten Leiter berührt, so zeigt dieser nach dem Herausziehen nicht die geringste freie Electricität. Hat der electrische Körper die Form einer Kugel, so ist die Electricität an allen Theilen seiner Oberfläche vollkommen gleich dicht, ungleich aber, wenn er von der Kugelfläche abweicht. Je mehr ein Theil zugespitzt ist, um so größer ist die Dichtigkeit der Electricität auf demselben, je dichter aber die Electricität ist, um so größer wird ihr Bestreben, sich von dem Körper wegzubegeben, sich in der Luft trotzdem daß diese nicht leitet zu zerstreuen, und daher kommt es, daß es unmöglich ist, mit Spitzen versehene Körper mit einer bedeutenden Menge von Electricität zu versehen. Alle diejenigen Gegenstände, auf denen eine größere Menge von freier Electricität angesammelt werden soll, müssen daher möglichst kugelförmig sein, alle vorspringenden Ecken und Spitzen sind zu vermeiden.

§. 244. Die Thatsache, daß die ungleichnamigen Electricitäten sich anziehen, die gleichnamigen sich abstoßen, gibt ein bequemes Mittel an die Hand, isolirte Leiter electrisch zu machen, indem man die in ihnen befindlichen aber im natürlichen Zustande sich gegenseitig neutralisirenden beiden Electricitäten vertheilt. Berührt man den Knopf des Electrometers (Fig. 249) mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange, so geht, wie bereits §. 242 angegeben wurde, ein Theil der Electricität der Stange auf den Knopf und die Strohhalme über und letztere divergiren. Wenn man jedoch die Stange dem Knopfe nur nähert, so wirkt erstere vertheilend auf die Electricitäten des letzteren. Bei Annäherung eines geriebenen Glasstabes nähert sich die negative Electricität des Knopfes, da sie von der positiven des Stabes angezogen wird, diesem so viel als möglich, während die abgestoßene positive sich möglichst entfernt, sich also in die Strohhalme begibt, die in Folge dessen, daß sie beide dieselbe freie Electricität enthalten, divergiren. Entfernt man den Glasstab wieder, so wird die negative Electricität des Electrometers nicht mehr angezogen, die positive nicht mehr abgestoßen, beide neutralisiren sich daher durch die ganze Masse der Strohhalme und des Knopfes hindurch und erstere werden nicht ferner divergiren. Berührt man den Knopf des Electrometers, während sich der Glasstab in seiner Nähe befindet, mit dem Finger, so geht die von dem Stabe abgestoßene positive Electricität nicht in die Strohhalme, denn ihr wird durch den Finger ein Weg zur Erde eröffnet, vermittelst dessen sie sich weiter von dem Stabe entfernen kann, als wenn sie in den Strohhalmen bliebe, über die sie im Falle der Nichtberührung wegen deren Isolation nicht hinauskommt. Die von dem Stabe angezogene negative Electricität bleibt an der demselben gegenüberliegenden Stelle des Knopfes trotz dessen Berührung mit dem Finger stehen, sie würde dem Stabe noch näher treten, wenn sie nicht durch die zwischen Knopf und Stab befindliche nichtleitende Luftschichte verhindert wäre. Entfernt man nun den Finger, so bleibt alles ohne Aenderung, wird aber darauf auch der Stab entfernt, so ist ferner keine Ursache mehr vorhanden, warum die negative Electricität in dem Knopfe allein bleiben sollte, ihre Theilchen stoßen sich gegenseitig ab, sie verbreiten sich daher über Knopf und Strohhalme und jetzt divergiren letztere. Das Electrometer ist negativ electrisch geladen. Man kann so mittelst Vertheilung der Electricität einen isolirten Körper electrisch machen, ohne ihn mit einem durch Reiben electrisch

gemachten zu berühren, und letzterer verliert daher durch diese Operation nichts von seiner Electricität.

§. 245. Wenn man auf ein Blech von Metall a (Fig. 250), das mit der Erde in leitender Verbindung steht, einen Kuchen von Harz b (10 Theile Schellack und 1 Theil venetianischer Terpentin in Scheibenform



Fig. 250.

ausgegossen) legt, und diesen mit einem Fuchsschwanze oder mit Katzenfell schlägt, so wird derselbe durch die dabei stattfindende Reibung negativ electrisch. Diese negative Electricität ist aber nicht ohne Einfluß auf die beiden Electricitäten, die in dem vorher im natürlichen Zustande befindlichen Bleche unter dem Kuchen sind, es wird die dortige positive Electricität angezogen, die negative abgestoßen. Das Blech hat daher, obwohl es mit der Erde in leitender Verbindung steht, mehr positive Electricität als negative. Man kann, wenn man den Versuch im Kleinen macht, diesen Umstand nachweisen, wenn man den Knopf des Strohhalmelectrometers (Fig. 249) durch eine ebene Metallplatte ersetzt, auf die dann ein sie an Größe etwas übertreffender Schellackkuchen gelegt wird. Reibt man nun den Schellack auf der obern Seite, so wird die dadurch hervorgerufene negative Electricität vertheilend auf die Electricitäten der Unterlage wirken, denn die Metallscheibe des Electrometers verhält sich zu dem Schellack nicht anders als das oben erwähnte Blech zu dem Harzkuchen, und die negative Electricität der Platte, die sich von dem ebenfalls negativen Schellack möglichst zu entfernen sucht, verursacht eine Divergenz der Strohhalme. Berührt man die Platte, so geht die negative Electricität durch den Finger fort und die Strohhalme sinken zusammen; sie divergiren aber wieder, wenn man den Schellack abhebt, denn die bis dahin gebundene positive Electricität wird nunmehr frei. Legt man auf den geriebenen Harzkuchen eine etwas kleinere möglichst ebene durch Seidenschnüre oder Glas isolirte Scheibe von Metall c (Fig. 251), so wirkt die negative Electricität des Kuchens auch vertheilend auf diese, die positive Electricität geht auf die untere Fläche, die negative auf die obere, und diese geht fort, wenn man das auf-



Fig. 251.

gelegte Blech mit dem Finger berührt. Da das Blech die Electricität leitet, geht bei der Berührung nicht blos die an der berührten Stelle befindliche negative Electricität, sondern die über die ganze obere Fläche des Bleches verbreitete fort, und wenn die Dimensionen des letzteren

nicht allzuklein sind, gewahrt man diese fortgehende Electricität als einen kleinen Funken, der unter einem knisternden Geräusche auf den sich nähernden Finger überspringt. Wird darauf vermittelst des isolirenden Glasstabes das aufgelegte Blech abgehoben, so wird auch die positive Electricität, die bis dahin von der negativen des Harzkuchens angezogen war frei, und man bekommt bei abermaliger Berührung des Fingers einen zweiten Funken von überspringender positiver Electricität. Legt man das Blech wieder auf den Harzkuchen, so springt nach dem Auflegen auch wieder negative und nach dem Abnehmen positive Electricität auf den Finger über. Kurz, man kann das Experiment noch oft wiederholen, wenn auch die Stärke der Funken allmählig abnimmt, und man hat daher durch diesen Electrophor genannten Apparat ein Mittel, eine größere Menge der beiden Electricitäten zu trennen.

Mit diesem wechselweisen Auflegen und Abnehmen des oberen Bleches ist auch eine Aenderung der Zustände in dem dem Harzkuchen als Unterlage dienenden verbunden, wie sich leicht bei dem kleinen Apparate an dem Electrometer nachweisen läßt. Angenommen, man habe die Platte des Electrometers nach dem Auflegen des geriebenen Schellacks berührt, so daß also jetzt wie oben erwähnt die Strohhalme beisammen sind, und man legt nun ein isolirtes kleines Metallblech c (Fig. 251) auf den Schellack, so wird auf seiner untern Seite positive Electricität sein, die von der negativen des Schellacks angezogen ist. Diese positive Electricität steht aber nicht nur unter dem Einflusse der Schellackelectricität, sondern wirkt auch auf diese zurück, zieht wieder diese an, und da die Schellackelectricität nunmehr unter dem Einflusse der ihr näheren des oberen Metalles steht und von ihr angezogen wird, kann sie nicht mehr so stark auf die des unteren wirken, weßhalb auch jetzt die letztere frei wird und eine Divergenz der Strohhalme veranlaßt, die jedoch alsbald wieder aufhört, sobald man den obern Deckel abnimmt.

Die Harzelectricität bindet jedesmal die positive Electricität eines der beiden Bleche, die des obern, wenn dasselbe aufgelegt wird, die des untern, wenn das obere abgenommen ist. Die Electricität des Bleches ist jedoch von der des Harzes nicht blos angezogen und gebunden, sondern übt auch rückwärts ihren Einfluß auf die Electricität des Harzkuchens aus. Der Umstand, daß die Harzelectricität von der des untern Bleches wenigstens zum Theile gebunden wird, veranlaßt,

daß durch das Reiben eine größere Menge derselben auf der Harzoberfläche angesammelt werden kann, und wenn daher das untere Blech fehlt, so gibt der Apparat eine viel geringere Wirkung als mit demselben. Der Metalldeckel muß, wenn eine bedeutendere Wirkung erzielt werden soll, möglichst genau auf dem Harzkuchen aufliegen; wenn übrigens dieses auch der Fall ist, so befindet sich doch noch stets Luft zwischen Kuchen und Deckel, welche verhindert, daß die — Electricität des ersteren auf letzteren übergeht. Wäre die Luftschichte nicht vorhanden, so würde, wenn nach der Berührung des Deckels dessen — Electricität abgeleitet ist, die noch übrige + Electricität sich mit der des Harzes verbinden und man bekäme nach dem Abheben des Deckels ebensowenig einen Funken aus demselben, als sich die Erscheinungen bei Wiederholung des Auflegens von Neuem zeigen würden. Es ist jedoch nicht zu vermeiden, daß wenigstens ein Theil der Electricitäten von Harz und Deckel sich neutralisiren, und darum werden die aus letzterem gezogenen Funken nach und nach schwächer.

Außer dem Harze kann man auch andere nichtleitende Substanzen zu dem Electrophor verwenden; solche sind Gutta-Percha, vulcanisirter Cautschouk, Schönbeins electrisches Papier u. s. w.

§. 246. Wenn man auch mit Hülfe des Electrophors im Stande ist, sich größere Mengen von Electricität zu verschaffen, so ist doch das Verfahren zu umständlich, und es ergibt sich daher die Nothwendigkeit, einen Apparat zu construiren, welcher ununterbrochen Electricität liefert. Ein solcher Apparat ist die Electrisirmaschine, als deren wesentliche Theile eine um ihren Mittelpunct a (Fig. 252) drehbare und dort gestützte Glasscheibe, das Reibzeug b und der Conductor c zu bezeichnen sind. Der Conductor und die mit dem Reibzeuge in Verbindung stehende Kugel sind von Messingblech und stehen auf Glasfüssen, sind also isolirt. Das Reibzeug besteht aus einem Brettchen

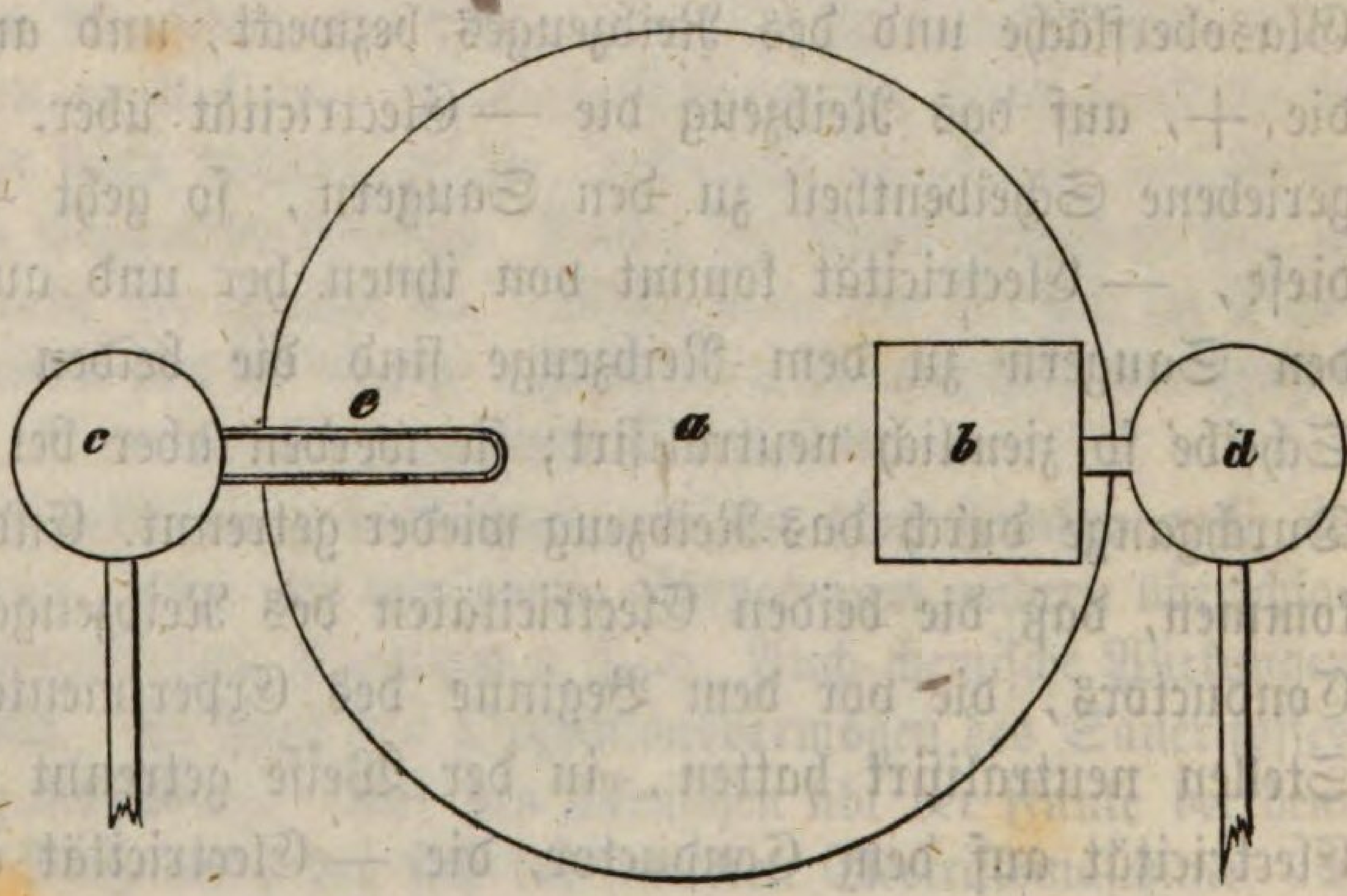


Fig. 252.

von Holz, das auf der der Scheibe zugewandten Seite mit Leder gepolstert ist, auf welchem sich aufgestrichenes Amalgam befindet. Solcher Reibzeuge sind 2 vorhanden, zwischen denen sich die Glasscheibe befindet, so daß diese, die Scheibe, bei dem Drehen mit einiger Reibung zwischen beiden Polstern durchgeht. Dieses Reibzeug vertritt die Stelle des Tuchlappens, an dem gerieben das Glas (§. 238) + electrisch wird, und wenn man daher die Scheibe vermittelst einer Kurbel um ihre Axe dreht, so wird derjenige Theil, welcher die beiden Polster verlassen hat, auf seiner Oberfläche + electrisch sein. Nach einer halben Drehung der Scheibe kommt dieser electrische Theil zu dem Conductor c. Der Conductor ist eine auf einem Glasfuße stehende hohle Messingkugel, von welcher zu beiden Seiten der Scheibe, also den beiden Stücken des Reibzeuges entsprechend, je ein Messingstück e so weit in die Scheibe übergreift, als es auf der andern Seite die beiden Reibzeugpolster thun. Diese Stücke, die sogenannten Sauger, berühren zwar die Scheibe nicht, sind ihr aber doch so nahe, daß die auf derselben befindliche + Electricität wenigstens zum großen Theile auf sie übergehen kann, und da sie mit der Messingkugel des Conductors in leitender Verbindung stehen, so wird letzterer + electrisch. Um Verluste an Electricität, welche die Scheibe erleidet, während sie von dem Reibzeuge zu dem Sauger geht, zu vermeiden, ist es zweckmäßig, eine Hülle von Taffent anzubringen, welche diesen Theil der Scheibe umgibt.

Würde man die Electrisirmaschine so wie sie im Vorhergehenden angegeben ist, benützen, so würde sie nach kurzer Zeit den Dienst versagen. Durch die Reibung an dem Reibzeuge wird nämlich eine Vertheilung der beiden vorher unter einander gemischten Electricitäten der Glasoberfläche und des Reibzeuges bezweckt, und auf das Glas tritt die +, auf das Reibzeug die — Electricität über. Kommt nun der geriebene Scheibentheil zu den Saugern, so geht + Electricität auf diese, — Electricität kommt von ihnen her und auf dem Wege von den Saugern zu dem Reibzeuge sind die beiden Electricitäten der Scheibe so ziemlich neutralisirt; sie werden aber bei dem abermaligen Durchgange durch das Reibzeug wieder getrennt. Endlich wird es dazu kommen, daß die beiden Electricitäten des Reibzeuges sowohl als des Conductors, die vor dem Beginne des Experimentes sich an beiden Stellen neutralisirt hatten, in der Weise getrennt sind, daß die + Electricität auf dem Conductor, die — Electricität auf dem Reibzeuge ist, und da es nunmehr nichts mehr zu trennen gibt, hört auch die

Thätigkeit der Electrisirmaschine auf. Soll fortwährend, wir wollen setzen, am Conductor + Electricität abgesondert werden, so ist unumgänglich nöthig, daß solche durch das Reibzeug herbeigebracht werde, und dieses geschieht dadurch, daß man letzteres mittelst einer Metallkette mit der Erde verbindet. Wird nun gedreht, so geht die — Electricität durch diese Kette fort, + Electricität kommt herein, wird mit Hülfe der Glasscheibe abgetrennt und auf den Conductor hinübergeführt. Will man — Electricität haben, so hängt man die Kette an den Conductor c und läßt das Reibzeug b isolirt.

Nähert man in dem Falle, daß die Kette am Reibzeug hängt, dem Conductor einen Leiter, der mit der Erde in Verbindung steht, so sammelt sich in diesem diejenige Electricität an, welche der des Conductors entgegengesetzt ist, und das Bestreben beider sich zu vereinigen kann so groß werden, daß sie den Widerstand der zwischenliegenden Luft überwindend zu einander die eine in der einen Richtung, die andere in der entgegengesetzten überspringen und dabei die Lichterscheinung des Funkens zeigen. Je bedeutender die Dichtigkeit der Electricität ist, um so größer wird die Entfernung, auf welche der Funke überspringt, die Schlagweite.

Stellt sich ein Mensch auf einen mit Hülfe von Glasfüßen isolirten Schemel und bleibt er durch Berührung in leitender Verbindung mit dem Conductor, so erhält er die Stelle einer Vergrößerung desselben und von ihm springen unter denselben Verhältnissen Funken weg wie von dem Conductor selbst. Die Electricität breitet sich über alle Puncte der Oberfläche des Conductors und der mit ihm in Verbindung stehenden Körper aus und die unmittelbare Folge davon ist die gegenseitige Abstoßung aller beweglichen Theile des letzteren. So sträuben sich die Haare des auf dem Isolirschemel stehenden electrisirten Menschen, eine Flaumfeder schwillt durch Auseinanderstrecken der Federchen an u. s. w. Das Entströmen der Electricität durch Spitzen läßt sich sehr leicht dadurch zeigen, daß man eine Nadel mit Hülfe von Wachs an dem Conductor befestigt. Sowie die Nadel aufgesetzt ist, so nimmt die Schlagweite der Funken ab. Macht man den Versuch im Dunkeln, so sieht man einen von der Spitze ausgehenden Lichtbüschel, der größer ist bei der positiven, kleiner bei der negativen Electricität.

Außer der Lichterscheinung beobachtet man an dem Funken auch ein Auftreten von Wärme, denn ein von einem Körper zum andern überschlagender Funke entzündet Aether, Knallgas u. s. w. Auch chemische Wirkungen werden hervorgebracht. So wird das Oxydationsvermögen des Sauerstoffes erhöht (Ozonisirung desselben). Auf den Menschen übt der Funke bei dem Ueberschlagen einen Stoß aus, der sich bei stärkeren Electrisirmaschinen bis zum Schmerz steigern kann, welchen man vorzugsweise an den Gelenken fühlt.

§. 247. In England hat man durch Zufall, als aus einem Dampfkessel durch eine kleine Oeffnung Dampf mit großer Gewalt hervordrang, eine bedeutende Electricitätsentwicklung beobachtet, und diese Beobachtung gab Veranlassung zur Construction der Dampfelectrisirmaschinen, derjenigen Apparate, welche die gewöhnlichen Electrisirmaschinen in ihrer Wirkung weit übertreffen und so weit es sich um künstliche Vorrichtungen handelt die Erscheinungen derselben zur Zeit am großartigsten zeigen. Die größte derartige Maschine befindet sich im polytechnischen Institut zu London und gibt bisweilen Funken von 22 Zoll Länge, zeigt jedoch ihre größte Wirkung bei geringer Spannung, in welchem Falle die Funken sich fast ununterbrochen folgen.

§. 248. Wenn man mit Hülfe eines der im Vorstehenden beschriebenen Apparate Electricität entwickelt und dieselbe auf einem Conductor sammelt, so wird sie nach und nach auf dessen Oberfläche sich dichter und dichter anhäufen, und da die einzelnen Electricitätstheilchen sich gegenseitig abstoßen, wird der Verlust d. i. die Menge der in Folge der Abstoßung in die umgebende Luft entweichenden Electricität, die Form des Conductors möge sein welche immer sie wolle, endlich so groß als der aus der Electricitätsquelle kommende Zuschuß, es muß daher eine Gränze kommen, welche nicht mehr überschritten werden kann, und in der Regel ist dieselbe auch ziemlich bald erreicht, so daß also die Menge von Electricität, mit der man operiren kann, stets nur verhältnißmäßig gering bleibt. Will man größere Quantitäten anwenden, so ist es nöthig, daß man um das Entweichen zu verhindern in die Nähe der angesammelten Electricität die ihr entgegengesetzte bringt, welche sie festhält, ohne daß eine Vereinigung derselben stattfinden kann. Dieses geschieht dadurch, daß man zwischen beide Electricitäten einen Nichtleiter schiebt, welcher ohne sehr dick zu sein der Electricität so viele Hindernisse in den Weg legt, daß sie an dem Durchgange verhindert wird. Ein solcher Nichtleiter ist das Glas. Ist eine Glastafel auf beiden Seiten mit Stanniol so überklebt, daß rings herum ein breiter Rand des Glases unbedeckt bleibt, so entspricht ihr Durchschnitt der Fig. 253, in welcher a die Glastafel, b und c die beiden Stanniolbelege vorstellen mögen. Leitet man nun auf die eine Seite, etwa auf b + Electricität, so wird diese sich darauf, so weit das Stanniol reicht, ausbreiten und wenn ihre Dichtigkeit zunimmt, wächst auch die gegenseitige Abstoßung der

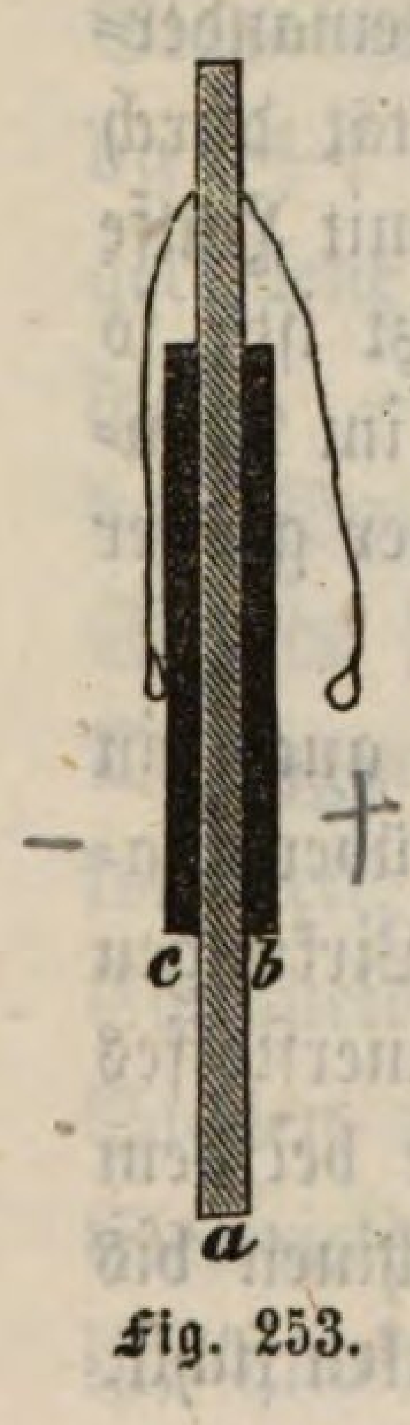


Fig. 253.

Electricitätstheilchen, so daß dieselben in die Luft zu entweichen suchen. Befindet sich aber auf der entgegengesetzten Seite c — Electricität, so wird diese durch das Glas a hindurch ihre Anziehung auf die + Electricität in b ausüben, diese Anziehung hat die Richtung von b nach c, sie ist also derjenigen Richtung, nach welcher zu das Entweichen stattfinden würde, entgegengesetzt, die + Electricität wird auf dem Glase festgehalten und kann daher in viel größerer Quantität darauf angesammelt werden. Um diesen Zweck zu erfüllen, ist es übrigens nicht nöthig, daß man behufs der Ladung beider Stanniolbelege eigens + und — Electricität entwickle, es genügt, daß man die eine Seite, welche für sich isolirt ist, mit dem Conductor der Electrisirmaschine in Verbindung bringe, während die andere durch eine Metallkette mit der Erde verbunden also nicht isolirt ist. Strömt nun die + Electricität auf b, so wird sie das bisherige Gleichgewicht der Electricitäten in c stören, sie wird die dortige + Electricität abstoßen, und diese geht durch die Kette fort, die — Electricität dagegen wird sie anziehen, und diese kommt durch dieselbe Kette in dem Maaße herein, als sich + Electricität in b anhäuft. Hebt man dann am Ende des Versuches durch Entfernung der Metallkette die Verbindung von c mit der Erde auf, so hat man auf beiden Seiten der Tafel eine andere Electricität, die Seite b ist +, die Seite c ist — electrisch. Beide Electricitäten werden durch das Glas verhindert, sich mit einander zu verbinden, da sie sich aber nichtsdestoweniger anziehen, so können sie auch nicht entweichen. Berührt man gleichzeitig die beiden Belege der Tafel, so ist dadurch den beiden Electricitäten ein Weg geöffnet, auf dem sie sich vereinigen können, und es erfolgt eine Entladung.

Die Menge der Electricitätstheilchen, die hier in Thätigkeit kommen, ist weit beträchtlicher als bei dem gewöhnlichen Conductor, und darum ist es auch deren Wirkung. Der Schlag, den man erhält, wenn man die beiden Belege der Tafel gleichzeitig berührt, ist viel heftiger, der Schall des Funkens weit stärker. Schaltet man in das Verbindungsglied der beiden Belege einen feinen Metalldraht, durch welchen also die Electricitäten ihren Weg nehmen müssen, so wird derselbe geschmolzen.

Man nennt die Tafel mit den beiden Stanniol-Belegen die *Franklin'sche*. Unter bequemerer Form erhält man dieselbe Wirkung bei der *Leydner Flasche*, einem sogenannten Zuckerglase Fig. 254, bei welchem die Außen- und die Innenseite etwa bis zur Höhe a mit

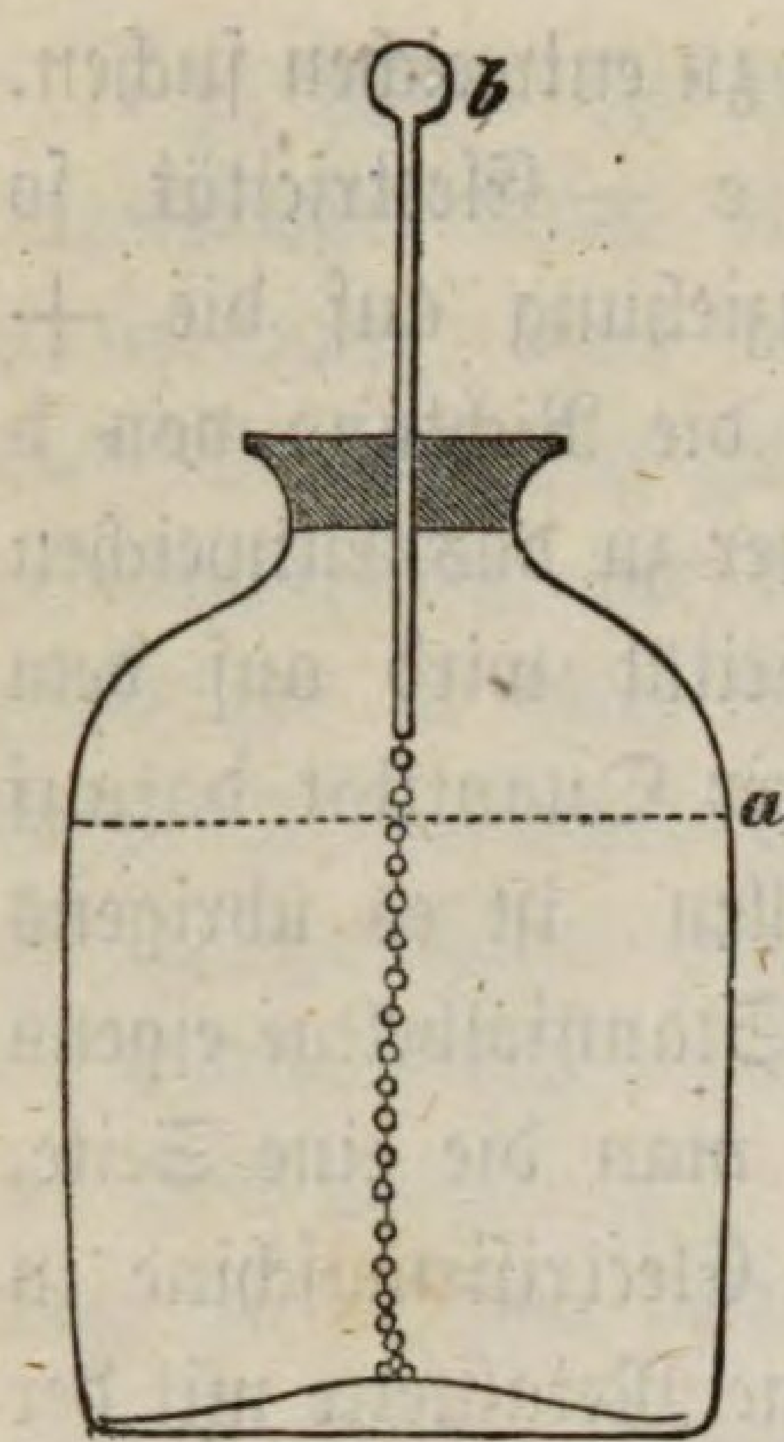


Fig. 254.

Stanniol belegt sind. Durch den Stöpsel des Glases reicht eine Stange oder Kette von Metall bis auf den innern Beleg, und die Entladung erfolgt daher, wenn gleichzeitig der Knopf b und der äußere Beleg durch einen Electricitätsleiter berührt werden. Durch Verbindung mehrerer solcher Flaschen (je die innern und die äußern Belege mit einander communicirend) erhält man die electrische Batterie. Die Wirkung dieses Apparates ist dieselbe wie die einer einzigen Flasche von gleicher Fläche des Beleges, es kann also eine Reihe von kleineren Flaschen durch eine einzige ersetzt werden; aber die Anwendung mehrerer kleinen Flaschen ist weniger unbequem, und da man ihrer mehr oder weniger mit einander verbinden kann, gelingt es, Batterien von beliebiger Größe herzustellen.

Ist die Dichtigkeit der beiden durch das Glas getrennten Electricitäten sehr groß, so kann es kommen, daß das Glas der Flasche nicht mehr im Stande ist, die Vereinigung beider zu verhindern. In diesem Falle entsteht ein ganz kleines Loch in dem Glase, und die Flasche ist nicht mehr zu gebrauchen.

§. 249. Die Quantität der einen Electricität, die von der andern gebunden werden kann, ist nicht immer die gleiche, sie ist abhängig von der Entfernung beider von einander. Sind die beiden Electricitäten unter einander gemischt, ist also die gegenseitige Entfernung verschwindend klein, so ist anzunehmen, daß die eine Electricität eine ihr gleiche Quantität der andern bindet, in diesem Falle wird also die eine Electricität durch die andere festgehalten, und es tritt das ein, was man den natürlichen Zustand der Körper nennt. Sind aber die beiden Electricitäten, wie dieses in Fig. 253 und 254 der Fall ist, durch eine Glaswand getrennt, so können sie als aus der Ferne auf einander wirkend nicht mehr gleiche Quantitäten binden. Leitet man nun auf die eine Seite einer Franklin'schen Tafel, etwa auf b (Fig. 253) + Electricität, so wird diese allerdings auf der Seite c — Electricität binden, aber am Ende des Versuches wird die Menge der letzteren auf der Seite c etwas geringer sein als die der ersteren auf der Seite b. Nehmen wir beispielsweise an, die Quantität der auf c befindlichen gebundenen — Electricität betrage 90 Procente von

der auf b ausgebreiteten positiven, und erstere wirke in derselben Weise auf die letztere zurück, so wird sie davon ebenfalls 90 Procente ihrer eigenen Menge, also 81 Procente der Menge der + Electricität zu binden vermögen, und von der +Electricität auf b sind daher 81 Procente gebunden, die übrigen 19 frei. Bringt man auf beiden Seiten der senkrecht stehenden Tafel Fig. 253 ein an einem Faden hängendes Korkkügelchen an, so beobachtet man auch in der That, daß das auf der Seite b befindliche von dem Stanniolbelege etwas abgestoßen wird. Berührt man (bei isolirter Seite c) den Beleg b mit dem Finger, so entweicht die freie Electricität, die gebundene bleibt allein zurück. Nunmehr ist die Electricitätsmenge auf b auf 81 Procente herabgesunken, welche nur $81 \times 0.9 = 72.9$ zu binden vermögen, weßhalb von den vorher gänzlich gebundenen 90 Theilen auf c nur noch 72.9 beschäftigt, dafür aber $90 - 72.9 = 17.1$ frei sind. Der Erfolg ist, daß nach dem Berühren von b das auf dieser Seite befindliche Korkkügelchen auf den Beleg herabsinkt, während das an der Seite c hängende von der dortigen freien Electricität abgestoßen wird. Berührt man nun c, so kommt wieder freie Electricität auf b zum Vorschein u. s. w. und dabei wird gleichzeitig das Quantum der jeweiligen freien und das der gebundenen Electricität geringer, bis endlich die Tafel vollständig entladen ist. Ist eine geladene Franklin'sche Tafel oder Leydner Flasche der Berührung mit der Luft ausgesetzt, so wirkt letztere, da sie nicht absolut Nichtleiter der Electricität ist, analog wenn auch schwächer als in dem eben besprochenen Falle der Finger, und es ergibt sich daher eine allmählige Entladung, die um so rascher vor sich geht, je besser leitend die Luft ist d. h. je mehr Feuchtigkeit sie enthält.

§. 250. Durch Bindung der Electricität gelingt es, wie im §. 248 gezeigt wurde, eine größere Menge derselben auf einer gegebenen Fläche zu sammeln, ihr das Bestreben sich zu entfernen, zu nehmen. Mit diesem letzteren sind aber auch die gewöhnlichen Erscheinungen der Abstoßung gleichnamig electrischer Körper verknüpft, und man gewahrt daher die letztere bei der gebundenen Electricität nicht; soll dieses geschehen, so muß die gebundene Electricität frei werden, und man erreicht dieses Ziel am einfachsten, wenn man nach der Ladung einer Franklin'schen Tafel den einen Beleg entfernt, denn mit diesem kommt auch die Electricität weg, welche die auf dem andern Belege befindliche gebunden hat. In diesem Falle werden die die freie Electricität begleitenden Erscheinungen stärker auftreten, als es bei einem andern

Körper, dessen Electricität vorher nicht gebunden war, geschehen würde, weil eben durch das vorhergehende Binden eine größere Quantität derselben auf ihm angesammelt werden konnte. Ein auf dieser Grundlage beruhender Apparat, welcher die Bestimmung hat, selbst schwache Spuren von Electricität wahrnehmbar zu machen, ist der sogenannte Condensator.

Dieser besteht aus zwei kreisförmigen möglichst ebenen Scheiben von Metall aa und bb (Fig. 255), von denen die obere vermittelst eines gläsernen Handgriffes c abgenommen werden kann, während die untere mit einem Goldblattelectrometer (Fig. 242) in leitender Verbindung steht. Die einander gegenüberliegenden Seiten der Scheiben a und b sind mit einer ganz dünnen Schichte von (nichtleitendem) Lack überzogen, und dadurch wird eine Analogie mit der Franklin'schen Tafel hergestellt, denn die Lackschichte entspricht der Glastafel in Fig. 253, während die beiden Scheiben aa und bb die Stelle der dortigen Belege vertreten. Vermittelst der Handhabe c kann der eine Beleg nach Belieben von dem andern getrennt werden. Berührt man nun die untere (nicht mit Lack überzogene) Seite der

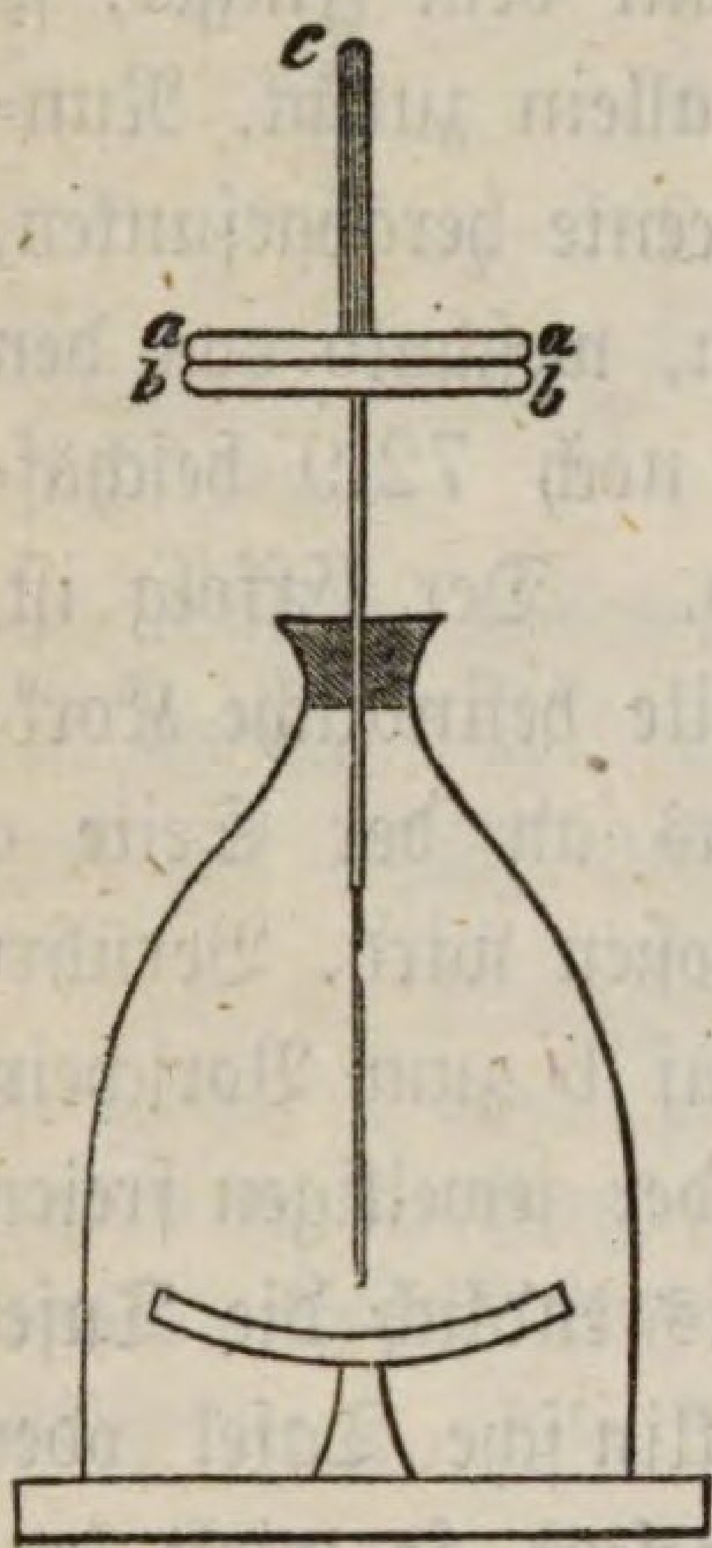


Fig. 255.

Scheibe b, der sogenannten Condensatorplatte oder Basis, oder einen daran angebrachten Knopf von Metall mit einem schwach electrischen Körper, so geht auf sie Electricität über und wird dort gebunden, wenn die obere Seite von a mit der Erde in leitender Verbindung steht, was durch Berührung derselben mit dem Finger bewerkstelligt wird. Entfernt man die Electricitätsquelle, so bleibt die auf dem nun mehr isolirten b befindliche Electricität als größtentheils gebunden zurück, dieselbe wird aber plötzlich frei, wenn die Scheibe a, der sogenannte Collector oder Deckel abgehoben wird, sie breitet sich nun so weit aus, als sie Electricitätsleiter antrifft, kommt dabei in die unterhalb befindlichen Goldblätter, diese divergiren daher und zeigen somit noch eine Electricität an, welche an und für sich zu schwach war, eine Wirkung auf ein gewöhnliches Electrometer auszuüben.

§. 251. Wenn sich zwei verschiedenartige Körper berühren, so findet eine Electricitätsvertheilung in der Weise statt, daß der eine Körper + der andere — electrisch wird. Der Unterschied in dem Zu=

stande der beiden Körper ist je nachdem man dieselben auswählt verschieden, er ist oft verschwindend klein und erreicht nie eine beträchtliche Größe. Man nennt die auf diese Weise erzielte Electricität Berührungs- oder Contactelectricität, auch sind die Bezeichnungen Galvanismus, Voltaelectricität üblich.

Um diese Electricitäts-Vertheilung nachzuweisen, wird der nach seinem Entdecker Volta benannte Fundamentalversuch angestellt, indem man das im vorigen Paragraphe angegebene Verfahren befolgt. Zu diesem Zwecke wird die untere (aus Kupfer oder Messing bestehende) Scheibe des Condensators mit einem Zinkstücke berührt, und gleichzeitig berührt man den Collector mit dem Finger. Hat man das Zink und dann den Finger entfernt, so kann der Collector abgehoben werden, und nun divergiren die Goldblättchen mit negativer Electricität, was man daran erkennt, daß ihre Divergenz bei Annäherung einer geriebenen Glasstange kleiner, bei Annäherung einer Siegellackstange größer wird. Besteht die Scheibe des Condensators aus Zink, und berührt man sie mit Kupfer oder Messing, so divergiren die Goldblättchen wieder, aber mit positiver Electricität, und es ergibt sich daher, daß wenn Zink und Kupfer sich berühren ersteres + letzteres —electrisch wird.

Zum Zwecke der Untersuchung des Aufeinanderwirkens eines festen Körpers und einer Flüssigkeit legt man auf eine (ungefirnißte) auf ein Goldblattelectrometer aufgeschraubte Zinkscheibe a (Fig. 256) eine etwas größere möglichst dünne Glasscheibe b, auf diese wieder eine Scheibe c von Löschpapier, welche mit der Zinkscheibe gleiche Größe hat und mit etwas durch Schwefelsäure oder Salzsäure angesäuertem Wasser getränkt ist. Berührt man nun vermittelst eines gebogenen Zinkdrahtes d gleichzeitig die untere Zinkscheibe und das Löschpapier und entfernt man den Draht zuerst von der Zinkplatte, dann vom Papiere und hebt hierauf das Glas ab, so divergiren die Goldplättchen mit negativer Electricität, das Zink wird also in Berührung mit dem angesäuerten Wasser —electrisch.

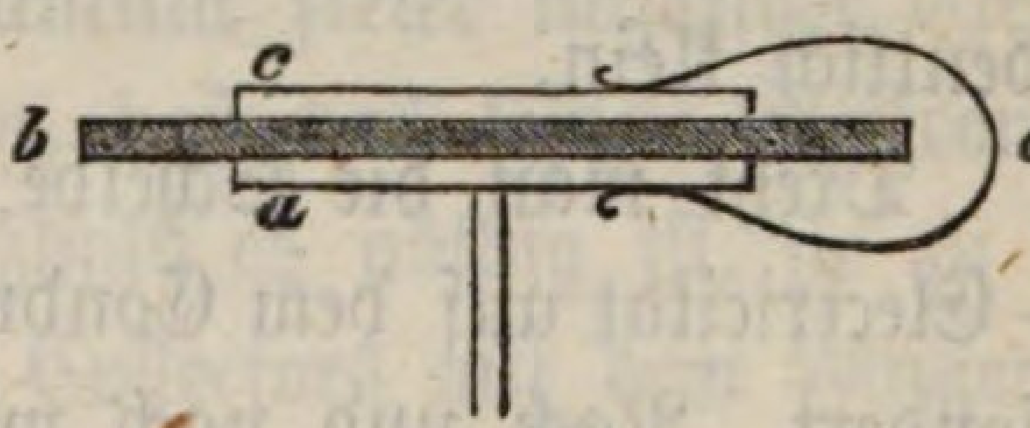


Fig. 256.

In beiden vorstehenden Fällen wird der eine der verwendeten Körper bei der Berührung + der andere —electrisch, es verbreitet sich also freie Electricität über jeden derselben.

§. 252. Wenn man die Electrisirmaschine in Thätigkeit setzt, so wird nach §. 246 der Conductor + das Reibzeug —electrisch, und

dasselbe Resultat ergibt sich bei der Berührung zweier heterogenen Körper: der eine übernimmt die Rolle des Conductors, der andere die des Reibzeugs. In beiden Fällen bekommt man 2 Objecte, die sich in einem electrischen Gegensatze befinden, doch besteht in ihrem Verhalten je nach der Electricitätsquelle ein großer Unterschied.

Nach §. 241 sind in jedem Körper, der sich im gewöhnlichen Zustande befindet, die beiden Electricitäten in der Menge vorhanden, daß sie sich gegenseitig neutralisiren. Gelingt es, diesen Zustand in der Weise zu ändern, daß man bei Anwesenheit von 2 Körpern auf dem einen die eine Electricität etwa die positive vermehrt, indem man diese dem andern entnimmt und dafür negative Electricität dort wegnimmt, hier hinzufügt, so wird der eine Körper + der andere — electrisch. Beide Körper haben jetzt, da man eine vollständige Trennung der Electricitäten nicht annehmen kann, zum Theile ungetrennte Electricitäten und außerdem noch einen Antheil freie. Je größer dieser Antheil an freier Electricität im Verhältniß zu der neutralisirten ist, um so mehr ist der Körper + oder — electrisch. Zwischen beiden Körpern ist so bezüglich des electrischen Zustandes ein Unterschied, und dieser Unterschied heißt *electrische Spannung*.

Bei der electrischen Vertheilung, die durch Reibung hervorgebracht wurde, ist die Spannung im Allgemeinen sehr groß, bei der Berührungselectricität ist sie im Allgemeinen verschwindend immer aber außerordentlich klein.

Dreht man die Scheibe der Electrisirmaschine, so wird bekanntlich + Electricität auf dem Conductor — Electricität auf dem Reibzeug abgesondert. Nach und nach wird die Dichtigkeit der freien Electricitäten und mit ihnen die Spannung größer. Setzen wir zunächst den Fall, es sei nach außen keinerlei Verlust an freier Electricität vorgekommen, so wird nach und nach die Spannung so groß, daß die Electricitäten im Stande sind, vom Conductor zum Reibzeuge und umgekehrt überzuschlagen, sich auszutauschen, und dieses wird jedesmal eintreten, wenn die Spannung die erforderliche Größe erreicht hat. Ueber diese Gränze kann sie nie hinaus. Denkt man sich Conductor und Reibkissen einander mehr und mehr genähert, so muß der Austausch früher und früher eintreten und die Spannung muß bei einer immer niedrigeren Stufe stehen bleiben.

Wenn 2 heterogene Körper sich berühren, so ist die Berührung an die Stelle des Drehens der Scheibe zu setzen, es tritt daher der=

selbe Fall ein, als hätte man eine Electrisirmaschine, deren Scheibe fortwährend gedreht wird, deren Conductor und Reibzeug sich aber außerordentlich nahe sind, weßhalb die Spannung zwar immer vorhanden ist, aber niemals eine beträchtliche Größe erreicht. Wie groß sie sei hängt von der Wahl der Körper ab.

Wäre an den beiden entgegengesetzt electrischen Körpern der Maschine von Hause aus noch eine beliebige Quantität + oder — Electricität, so sieht man leicht ein, daß die nur von der Differenz beider abhängige Schlagweite dadurch nicht geändert wird, und ebenso ist es bei der Berührung zweier Körper. Beide können gleichzeitig + oder — sein, aber der eine ist es um so viel mehr, der andere weniger als die zwischen beiden bestehende Spannung es erheischt. Es kann darum auch möglicherweise in dem einen Körper gar keine freie Electricität sein, der nächste ist von ihm nach dem Grade der Spannung verschieden.

Wenn man, wie dieses in dem vorigen Paragraphe angegeben wurde, ein Stück Zink in der Hand hält, so ist es durch Vermittlung des Körpers mit der Erde in leitender Verbindung, und da man die Spannung zwischen Zink und Körper dann zwischen Körper und Erde als verschwindend klein betrachten kann, so hat das Zink stets nur die Electricität der Erde. Berührt man mit diesem das Kupfer der Condensatorplatte, so erhält man auf dieser eine der Spannung zwischen Kupfer und Zink angemessene Quantität freier negativer Electricität. Diese Quantität ist aber so gering, daß das feinste Electrometer nicht im Stande ist sie anzuzeigen, weßhalb es nöthig ist, sie zu vermehren. Berührt man die Platte des Collectors mit dem Finger, so wirkt die negative Electricität der Basis vertheilend auf die Electricitäten der Collectorplatte, sie bindet durch die dünne Lackschichte hindurch einen entsprechenden Antheil der + Electricität des Collectors, wird aber auch dafür zum angemessenen Theile gebunden. Dadurch vermindert sich die freie Electricität der Basis, und durch Vermittlung der Zinkplatte stellt sich die alte Differenz mit dieser wieder her. Es wird wieder ein Theil gebunden, ein anderer wird frei, und dieses geht so lange fort, bis die Menge der in der Basis befindlichen freien — Electricität genau so groß ist, als sie war, ehe der Collector mit dem Finger berührt wurde. Der von dem Collector gebundene Theil ist wie gar nicht vorhanden. Entfernt man nun das Zink, dann den Finger, so sind beide Electricitäten isolirt, die negative der Conden=

satorplatte bindet die positive des Collectors, diese einen Theil der negativen der ersteren. Hebt man den Collector ab, so wird alle Electricität der Basis frei, und sie ist nun ihrer Menge nach geeignet, eine Divergenz der Goldblättchen hervorzubringen.

In dem zweiten Falle des vorigen Paragraphes, in welchem das Zink mit der Flüssigkeit in Berührung steht, wird letztere + ersteres — electrisch. Auch hier ist die Spannung wieder ganz unbedeutend, aber die + Electricität verbreitet sich über die Flüssigkeit, die — Electricität über das Zink der untern Platte, beide sind nur durch die Glasplatte getrennt einander auf größerer Strecke nahe und binden sich daher zum Theile, weßhalb eine weitere Trennung zum Vorschein kommen kann. Entfernt man nun den Zinkdraht, dann die Glasplatte mit der Flüssigkeit, so wird die gesammte auf der Zinkplatte befindliche — Electricität frei, und diese kann nun auf die Goldblättchen mit gehöriger Stärke einwirken.

Die Veranlassung zu der Entdeckung der Berührungselectricität gab die Beobachtung Galvani's, Professors in Bologna, daß frisch präparirte Froschschenkel, welche er vermittelst kupferner Häckchen an einem eisernen Geländer aufgehängt hatte, zuckten, wenn die Schenkelmuskel mit den Eisenstäben des Geländers in Berührung kamen. Man glaubte anfangs eine eigene dem electrischen Fluidum analoge Nervenflüssigkeit annehmen zu müssen und den Körper wie eine Art von Leydner Flasche betrachten zu können, bei welcher die Nerven einer- die Muskeln andererseits die Rolle der Stanniolbelege spielen, worauf durch Herstellung einer Leitung zwischen Muskel und Nerv durch Metall eine sich durch das Zucken verrathende Entladung zum Vorschein käme. Volta drehte die Theorie um und lehrte, daß es auf die gegenseitige Berührung zweier verschiedener Metalle ankomme, daß man hier nicht mit einem eigenen Lebensfluidum, sondern mit gewöhnlicher Electricität zu thun habe, die an der Berührungsstelle der beiden Metalle entwickelt werde, während die Zuckungen des Froschschenkels nur davon herrühren, daß die von dem einen Metalle ausgehende + Electricität und die — Electricität des andern sich im Schenkel austauschen. Er unterstützte seine Theorie dadurch, daß man in der That die electrische Vertheilung ohne Zuhülfenahme eines Froschschenkels nachweisen kann (Versuche des vorhergehenden §.) Nach Galvani bedeutet A (Fig. 257) den Muskel, B den Nerv des Thieres; zwischen beiden in c findet Electricitäts- (oder wenn man will Lebensflüssigkeits-) Entwicklung statt, Nerv und Muskel bekommen verschiedene Electricitäten, und diese tauschen sich durch Hülfe des metallischen Leiters C aus, womit dann das Zucken des Fro-

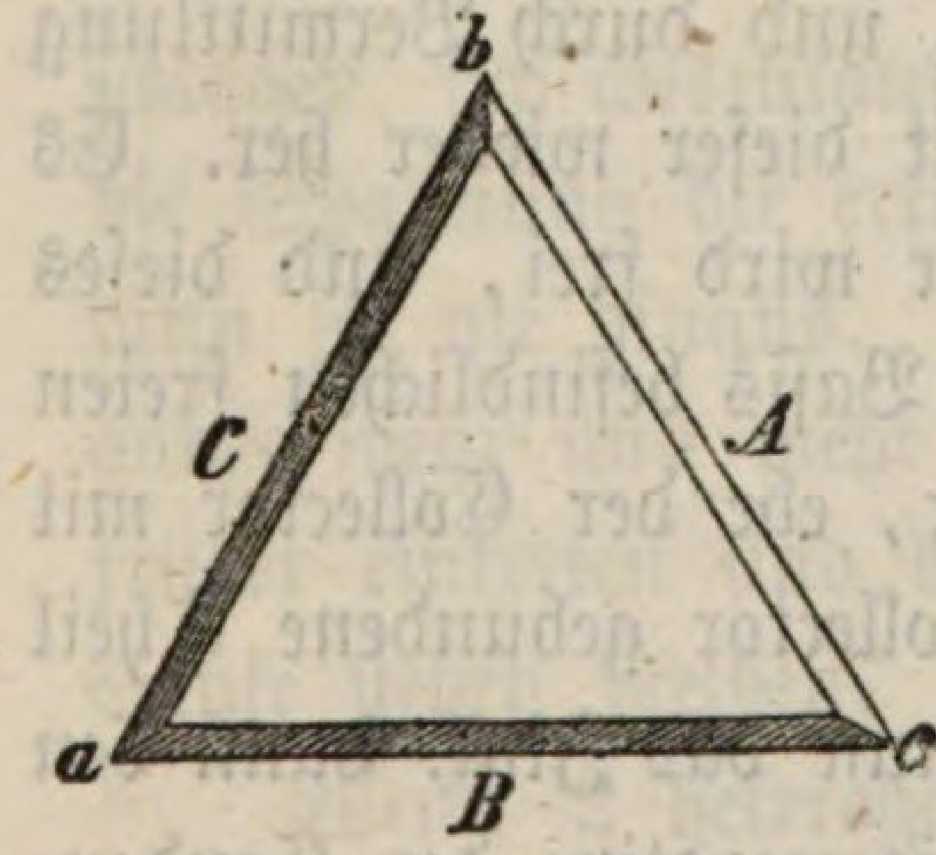


Fig. 257.

sches verbunden ist. Nach Volta ist C das eine Metall, B das andere, A der Froschschenkel, bei der Berührung der beiden Metalle in a wird das eine + das andere — und der Austausch der beiden Electricitäten durch Hülfe des Froschschenkels verursacht dessen Bewegung. Spätere Untersuchungen haben einen Zusammenhang der Berührungselectricität mit chemischen Vorgängen gezeigt, und da diese vorzugsweise durch Flüssigkeiten vermittelt werden, wurde man besonders nach dem Vorgange de la Rive's veranlaßt, den Sitz der electrischen Thätigkeit nicht in der Berührung zweier heterogener Metalle, sondern in der Wirkung derselben auf Flüssigkeiten zu suchen. Nimmt man in Fig. 257 wieder C als den (Flüssigkeiten führenden) Froschschenkel, A und B als die beiden Metalle, so wird der electrische Zustand der letzteren bei der Berührung von C verschieden ausfallen, und die durch Verbindung beider in a hervorgerufene electrische Strömung bewirkt das Zucken des Froschschenkels. Nach dieser Theorie ist also der Sitz der sogenannten electromotorischen Kraft nicht wie bei der Volta'schen in a, sondern in b und c.

Nach den bisherigen Erfahrungen kann man sowohl die Nerventhätigkeit als auch die Berührung heterogener fester Körper oder die von festen Körpern und Flüssigkeiten als Electricitätsquellen betrachten; doch besteht ein großer Unterschied in der Mächtigkeit dieser Quellen. Merkwürdigerweise ist gerade der stärkste Erfolg der zuletzt hervorgehobenen Wirkung zuzuschreiben.

§. 253. Legt man auf eine Scheibe von Metall etwa von Zink eine zweite Scheibe von Filz oder von Tuch, welche mit verdünnter Schwefelsäure getränkt ist, so wird nach dem, was in den beiden vorhergehenden Paragraphen angeführt wurde, an der Gränze beider Scheiben eine Vertheilung der Electricitäten zum Vorschein kommen, und das Resultat ist eine Spannung, eine Differenz in dem electrischen Zustande der Scheiben, das Verhältniß der + Electricitätstheilchen zu dem der — Electricitätstheilchen ist auf jeder Scheibe ein anderes. Gesetzt, die beiden Scheiben seien isolirt, so wird die Zinkscheibe — die Tuchscheibe + electrisch, und für den Fall, daß im Zink das Ueberwiegen der — Electricität die Größe E beträgt, so herrscht in dem Tuche die + Electricität in gleicher Weise vor. Die Differenz zwischen beiden Scheiben, also die Spannung zwischen denselben macht mithin 2 E aus. Würde man von außen so viel + Electricität einführen, daß die beiden Scheiben für sich dadurch die Ladung + E bekämen, so würde nach dem Aufeinanderlegen fortan die — Electricität des Zinkes aufhören (denn $-1 + 1 = 0$), die des Tuches dagegen würde jetzt (weil $+ 1 + 1 = 2$) 2 E betragen, und die Spannung zwischen Tuch und Zink wäre wieder 2 E (§. 252). Man könnte von außen so viel + Electricität einführen, daß dadurch die Ladung des ganzen Apparates + 2E betrüge. In diesem Falle wäre die Electri=

cität des Zinkes = + 2 E — 1 E = 1 E, die des Tuches = + 2 E + 1 E = 3 E und die Spannung zwischen Tuch und Zink wäre wieder = 2 E. Nehmen wir an, die eine Scheibe stehe mit der Erde in leitender Verbindung, so wird ihr Electricitätsstand = 0 sein, und der Stand der andern ist = + 2 E oder = — 2 E, je nachdem die Zink- oder die Tuchscheibe es ist, die mit der Erde in Verbindung steht.

Ist das Zink unten, so wird das darüber liegende Tuch + electrisch; würde man nun dieses wieder mit Zink bedecken, so würde das obere Zink gegen das Tuch dasselbe Verhalten äußern als das untere, darum wäre die Spannung zwischen ihm und dem Tuche ebenfalls die nämliche, und sein electrischer Zustand wäre = 0 wie bei der untern Platte. Bedient man sich statt des Zinkes einer Kupferscheibe, so wird auch diese mit dem nassen Tuche in Berührung gebracht negativ; aber die Spannung ist viel kleiner (nur etwa $\frac{1}{10}$) als bei dem Zinke. Ist die Tuchscheibe auf der obern wie auf der untern Seite in Berührung mit Kupfer, so ist der electrische Zustand beider Kupferscheiben wieder der gleiche. Man kann dieses Verhältniß leicht graphisch darstellen, wenn man durch die Länge verticaler Geraden die Größe der Spannung, durch horizontale Striche die jeweiligen Körper bezeichnet, wie dieses in Fig. 258 geschehen ist. Gesetzt, die Zinkplatte Z sei mit der Erde in leitender Verbindung, so ist ihre Electricität = 0, d. h. das gegenseitige Verhältniß ihrer beiden Electricitäten ist dasselbe wie auf der Erde, und dieses bleibt nach dem Obigen noch, wenn sie auch mit einer nassen Tuchscheibe bedeckt wird; letztere wird aber bei der Berührung mit dem Zinke + electrisch, und wenn wir diesen Zustand dadurch andeuten, daß wir die einen gegebenen Körper bezeichnende Gerade um so höher setzen, je mehr die + Electricität in ihm vorherrscht, so wird die Lage der Geraden T die Electricitätsverhältnisse der das Zink Z berührenden Tuchscheibe andeuten. Legt man auf die Tuchscheibe wieder Zink Z_1, so wird dieses gegen das Tuch in den gleichen Beziehungen stehen wie Z, es wird daher in gleicher Höhe mit diesem zu stehen kommen. Verwendet man statt des Zinkes Kupfer, so wird der electrische Zustand durch das Schema Fig. 259 angegeben. Der Platz für die das Tuch repräsen-

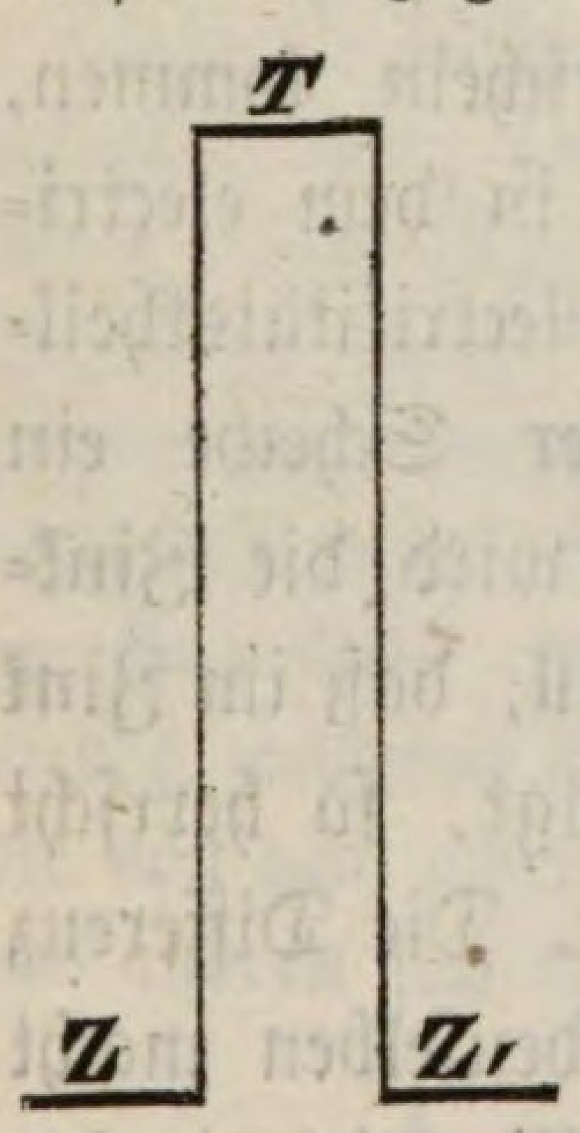


Fig. 258.

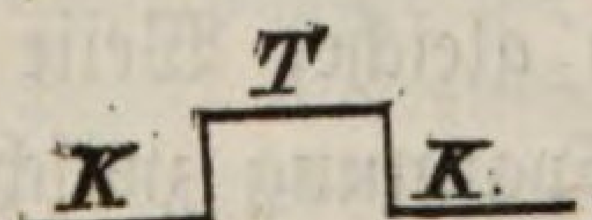


Fig. 259.

tirende Gerade T ist weniger hoch, weil die Spannung zwischen dem nassen Tuche und dem Kupfer viel geringer ist, als zwischen dem Tuche und dem Zink.

Man kann die Abänderung treffen, daß man auf die eine Zinkplatte Z bedeckende mit Schwefelsäure getränkte Tuchscheibe T nicht wieder eine Zinkplatte, sondern eine Kupferplatte K legt. In diesem Falle wird zunächst die in Fig. 260 angegebene Spannung ZT zum Vorschein kommen. Legt man nun die Kupfertafel auf das Tuch, so wird deren + Electricität geringer sein als bei dem Tuche, und der Fig. 259 analog muß in Fig. 260 der Kupfertafel die von K eingenommene Höhe angewiesen werden. Man kann nun auf die Kupfertafel eine zweite Zinkplatte Z_1 legen. Zink mit Kupfer in Berührung gebracht wird + electrisch, und wenn die Höhendifferenz KZ_1 der zwischen Kupfer und Zink erregten Spannung entspricht, muß Z_1 wieder etwas höher zu stehen kommen als K. Legt man auf das Zink Z_1 wieder das Tuch T_1, so ist letzteres gegen Z_1 + electrisch und die Electricitäts-Vertheilung darin wird durch die Stellung von T_1 angegeben. Eine zweite Kupferscheibe K_1 ist wieder etwas weniger + electrisch, muß also etwas tiefer als T_1 gesetzt werden, und die Gerade K_1S repräsentirt die Spannung, die zwischen K_1 und Z besteht.

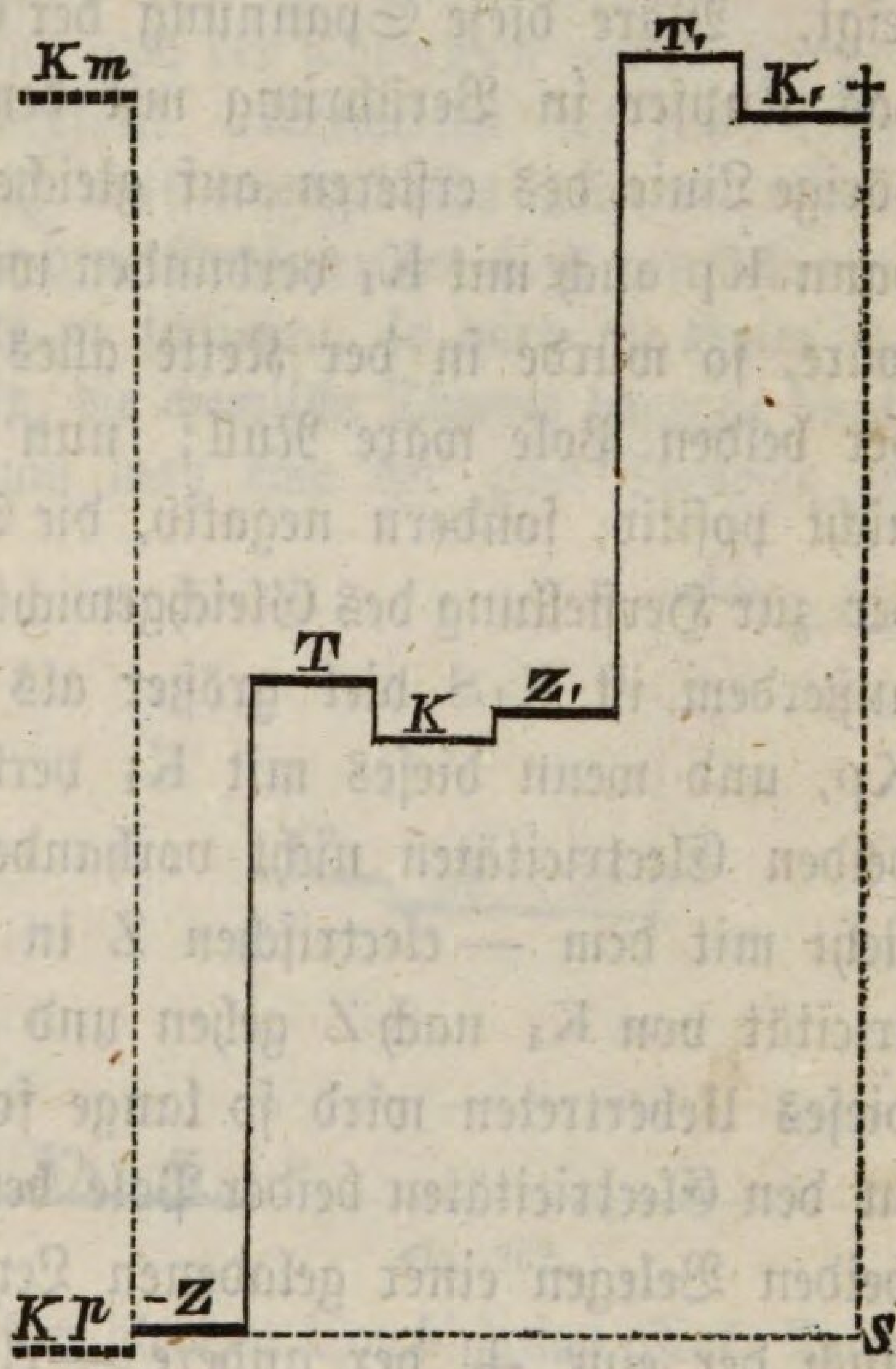


Fig. 260.

Würde man nun dieses Verfahren wiederholen, so ist leicht zu sehen, daß die + Electricität immer zunehmen muß, je größer die Anzahl der verwendeten Scheiben ist. Der in dieser Weise construirte Apparat heißt nach seinem Erfinder die **Volta'sche Säule** oder **Kette**, jede Combination je einer Zink-, Tuch- und Kupferscheibe heißt ein **Element**, und die beiden äußersten Platten führen den Namen **Pole**. Die letzte Kupferplatte ist der **positive**, die Zinkplatte Z der **negative** Pol. So lange die beiden Pole der Kette mit einander nicht anders als durch die Kette selbst in Verbindung sind, so lange heißt

letztere offen; wenn man aber den einen Pol mit dem andern etwa durch einen Kupferdraht in Verbindung setzt, ist die Kette geschlossen. Bei Betrachtung des Schema's Fig. 260 zeigt sich, daß zwischen beiden Polen eine Differenz in dem electrischen Zustande besteht, die um so größer wird, je bedeutender die Anzahl der zur Construction der Säule verwendeten Elemente ist. Verbindet man Z mit einem Kupferdrahte Kp, so wird an der Berührungsstelle des letzteren mit Z wieder eine electrische Spannung zum Vorschein kommen, wie sie sich auch bei KZ_1 zeigt. Wäre diese Spannung der Größe nach gleich K_1S und würde das Kupfer in Berührung mit dem Zinke positiv, so käme die zugehörige Linie des ersteren auf gleiche Höhe mit K_1 nach Km, und wenn dann Kp auch mit K_1 verbunden würde, wenn also die Kette geschlossen wäre, so würde in der Kette alles in Ruhe sein, denn die Spannung der beiden Pole wäre Null; nun wird aber Kupfer mit dem Zinke nicht positiv, sondern negativ, die Spannung ist also dem Sinne nach der zur Herstellung des Gleichgewichtes erforderlichen entgegengesetzt, und außerdem ist K_1S viel größer als KZ_1, wir erhalten die Stellung Kp, und wenn dieses mit K_1 verbunden ist, kann Gleichgewicht der beiden Electricitäten nicht vorhanden sein, der + electrische Körper K_1 steht mit dem — electrischen Z in Verbindung, es muß also + Electricität von K_1 nach Z gehen und — Electricität von Z nach K_1, und dieses Uebertreten wird so lange fortdauern, als noch ein Unterschied in den Electricitäten beider Pole besteht. Hätte man hier etwa mit den beiden Belegen einer geladenen Leydner Flasche zu thun, von denen auch der eine + der andere — electrisch ist, so wäre nach dem Austausche der beiden Electricitäten der ganze Vorgang vorbei; es tritt aber hier der Umstand ein, daß nach dem ersten momentanen Austausche die alte Differenz wieder zum Vorschein kommt, denn das, was sie hervorgerufen hat, die gegenseitige Berührung der heterogenen Körper, dauert fort, und dieses muß auch mit der Bewegung der beiden Electricitäten der Fall sein, es entsteht also ein electrischer Strom.

Bei diesem Strome hat man stets die beiden Electricitäten, die sich immer in entgegengesetzter Richtung bewegen, und da man in Folge dessen, wenn die Richtung der einen Electricität bekannt ist, die der andern kennt, so beschränkt man sich bei den Angaben der Richtung eines Stromes damit, nur den Weg der + Electricität zu bezeichnen. In dem in Fig. 260 angedeuteten Falle geht also, wenn man K_1 mit

Z durch einen Kupferdraht verbindet, der Strom in diesem Schließungsdrahte von K_1 nach Z.

Die oben angeführte Ableitung der Wirkung der Volta'schen Kette beruht auf der Annahme, daß mit der Berührung aller heterogenen Körper Electricitätsvertheilung verbunden sei. Die ursprüngliche Erklärung Volta's geht von der Ansicht aus, daß nur durch gegenseitige Berührung heterogener Metalle, die spätere chemische Theorie nimmt an, daß nur an der Berührungsstelle der festen Körper mit Flüssigkeiten die electrische Strömung auftrete. Bei der ersten dieser beiden Theorien haben wir also keine Spannung zwischen dem Metalle und der Flüssigkeit oder der von der Flüssigkeit getränkten Tuchscheibe, während umgekehrt nach der strengen andern Theorie die Wirkung zwischen den Metallen wegfällt. Entwerfen wir jeder dieser beiden Ansichten folgend eine dem in Fig. 260 angegebenen Schema entsprechende Zeichnung von 2 Elementen mit dem Kupferdrahte Kp, der bestimmt ist, durch Verbindung mit K_1 die Kette zu schließen, so wird die Volta'sche Theorie durch Fig. 261 repräsentirt sein, die chemische Theorie dagegen durch Fig. 262. Man sieht leicht, daß man mag eine der zwei Theorien zu

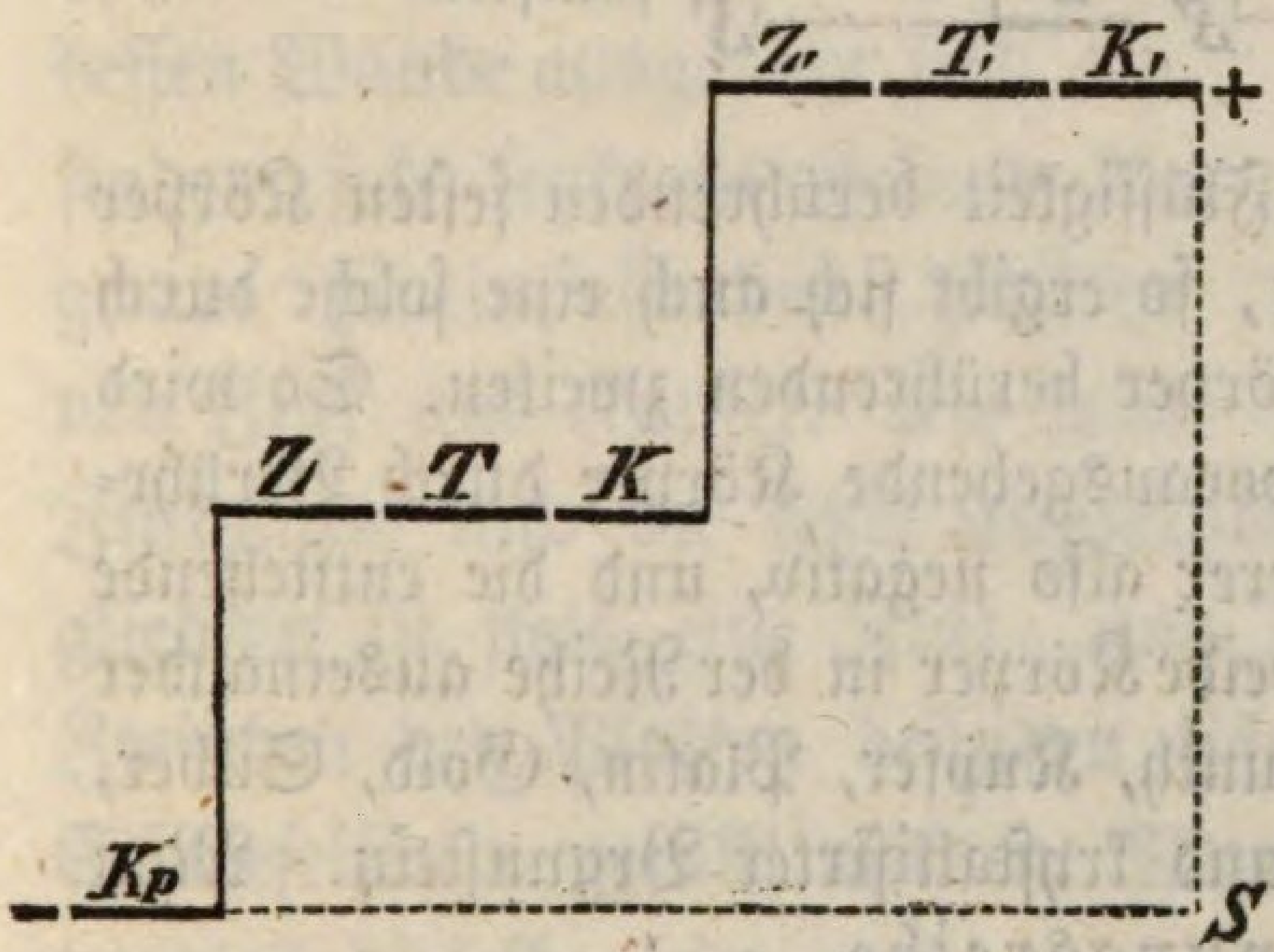


Fig. 261.

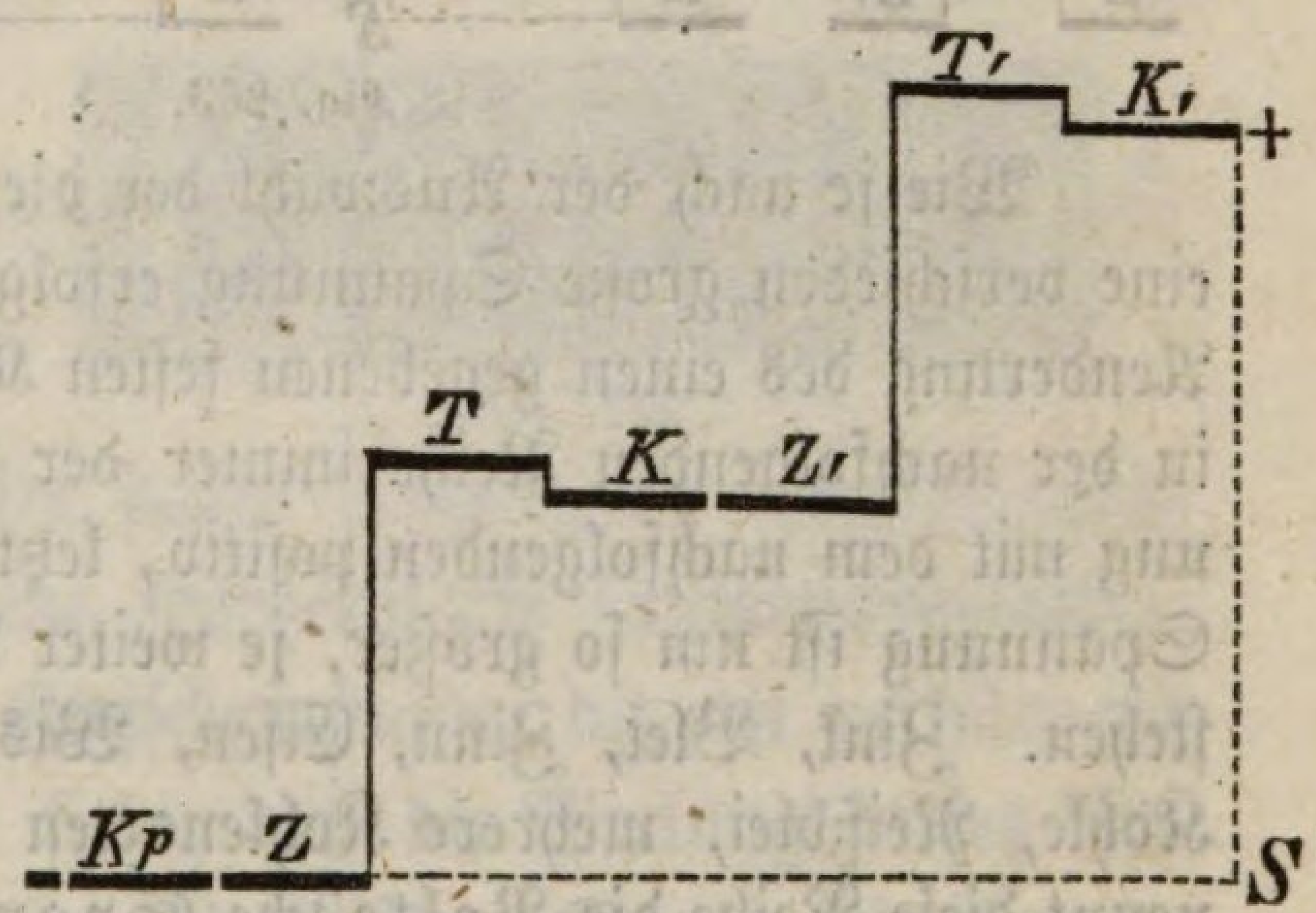


Fig. 262.

Grunde legen, welche man wolle, bei der gleichen Combination Zink, Tuch und Kupfer wie in Fig. 260 der — Pol zum Zinkende, der + Pol an das Kupferende fallen wird.

Die Größe der durch Berührung heterogener Körper bewirkten electrischen Spannung wechselt von einer Combination der Körper zur andern; wählt man bei der Construction einer Kette solche Materialien aus, welche unter sich bedeutende Verschiedenheiten ihrer Electricität zeigen, so wird man bei Anwendung einer und derselben Anzahl von Elementen eine Kette von stärkerer Spannung bekommen, als wenn dieses nicht der Fall ist. Unter denjenigen Metallen, welche man in beliebiger Quantität und zu billigen Preisen bekommen kann, ist das Zink dasjenige, welches in Berührung mit Flüssigkeiten wie Salzwasser, verdünnte Schwefelsäure u. s. w. am stärksten — electrisch wird. Bezeichnet man die Electricitätsvertheilung, welche das Kupfer in Berührung mit verdünnter Schwefelsäure bekommt, mit — 1, so ergibt sich der Werth für Zink mit — 10, Eisen — 5, Platin + 2.5 und es ergibt sich daraus, daß die Combination von Zink und Platin diejenige

ist, bei welcher ein Volta'sches Element die stärkste Spannung erhält, denn stellt man der Reihe nach die Elemente: Zink-Säure-Zink, Zink-Säure-Eisen, Zink-Säure-Kupfer und Zink-Säure-Platin zusammen, so ergibt sich die ihnen entsprechende Spannung sehr leicht aus den in Fig. 263 angegebenen Schemas. Bei der Combination ZTZ_1 ist die erzielte Spannung = 10 — 10 = 0, bei ZTE ist sie = 10 — 5 = 5, bei ZTK = 10 — 1 = 9 und bei ZTPl = 10 + 2.5 = 12.5, es ist also unter den angegebenen Elementen das Zink-Platin-Element das wirksamste.

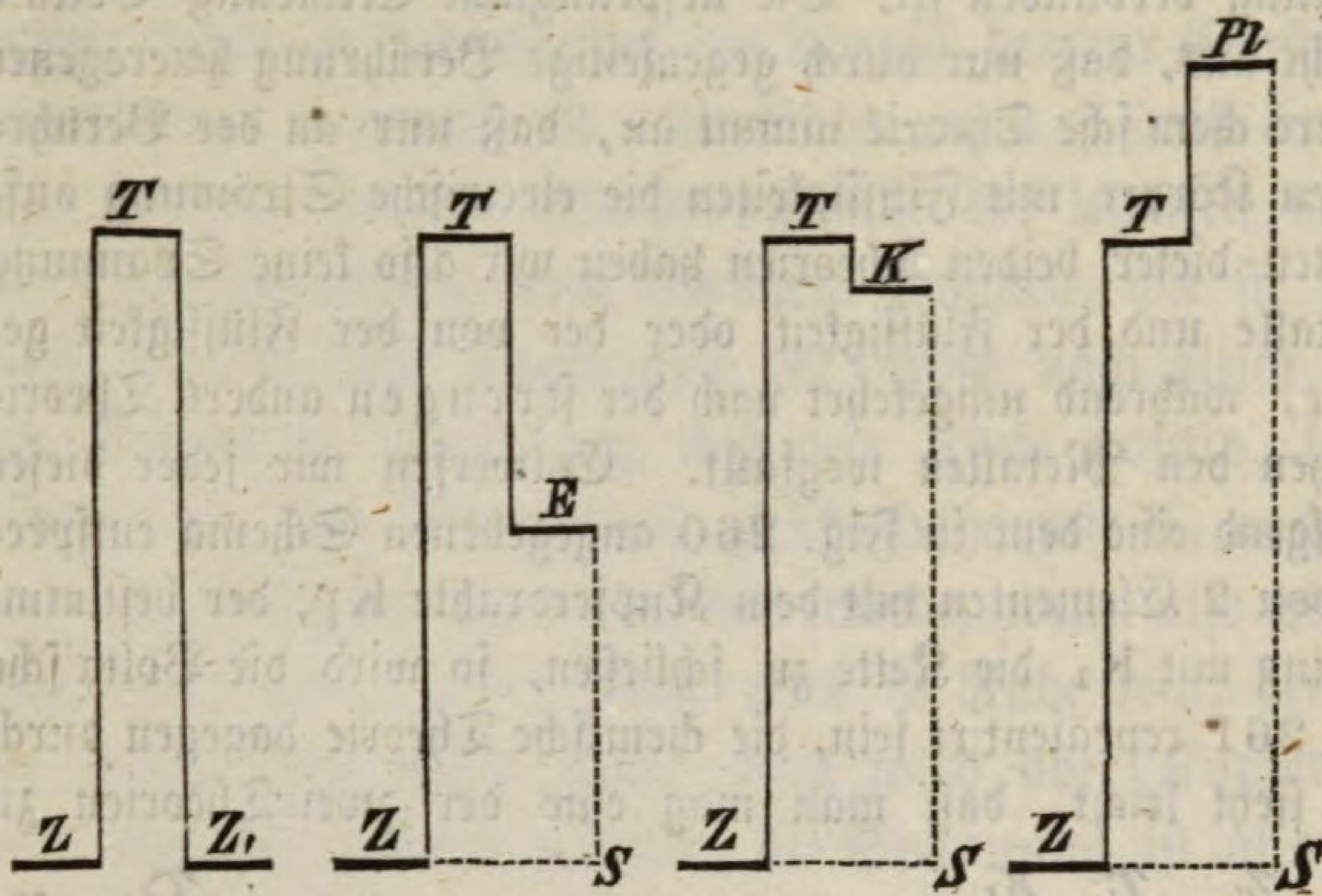


Fig. 263.

Wie je nach der Auswahl der die Flüssigkeit berührenden festen Körper eine verschieden große Spannung erfolgt, so ergibt sich auch eine solche durch Aenderung des einen gegebenen festen Körper berührenden zweiten. So wird in der nachfolgenden Reihe immer der vorausgehende Körper durch Berührung mit dem nachfolgenden positiv, letzterer also negativ, und die entstehende Spannung ist um so größer, je weiter beide Körper in der Reihe auseinander stehen. Zink, Blei, Zinn, Eisen, Wismuth, Kupfer, Platin, Gold, Silber, Kohle, Reißblei, mehrere Kohlenarten und krystallisirter Braunstein. Man nennt diese Reihe die **Volta'sche Spannungsreihe**.

§. 254. Die erste Form, welche man der Volta'schen Säule gab, war die, auf welche ihr Name hinweist, die einer Säule; man legte, wie dieses in Fig. 264 angedeutet ist, die einzelnen Scheiben von Zink, mit Salzwasser oder Säure getränktem Tuch und von Kupfer unter steter Beibehaltung derselben Reihenfolge auf einander und bekommt so, wie aus der Vergleichung mit Fig. 260 hervorgeht, eine mit der Zahl der Elemente wachsende Spannung. Ist die Reihenfolge von unten aus gerechnet Zink, Tuch, Kupfer, so ist unten der — oben der + Pol der Säule.

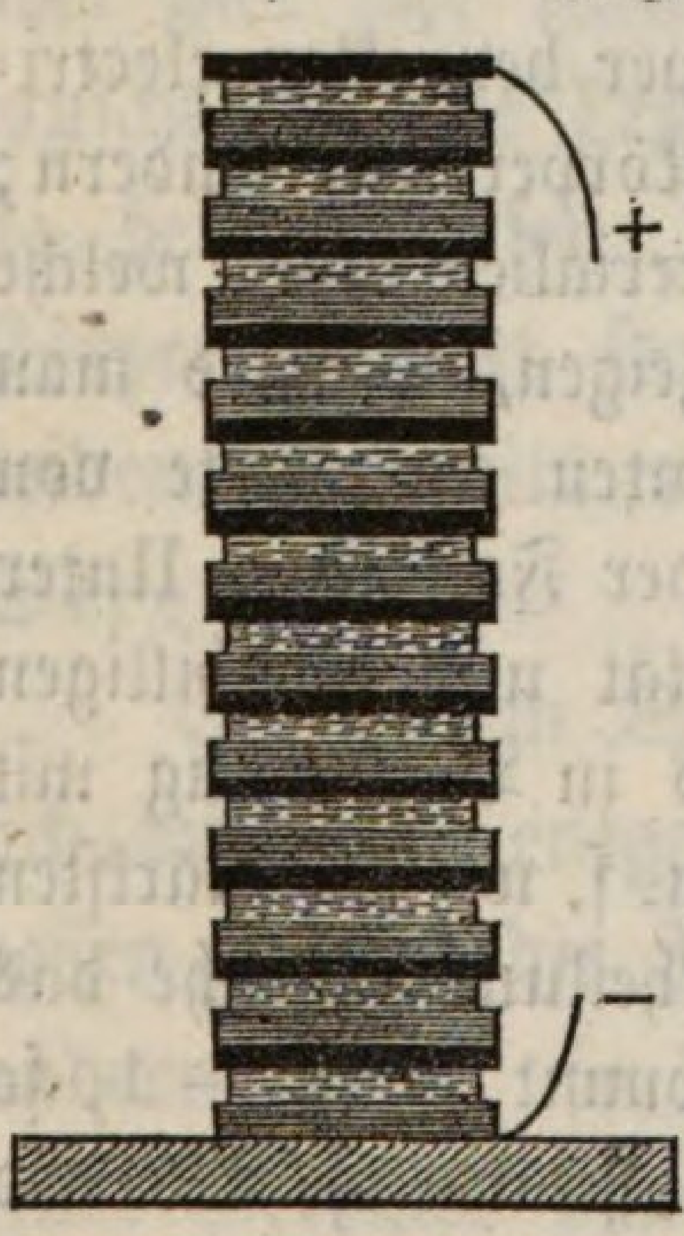


Fig. 264.

Dieser Apparat hat den Nachtheil, daß die Last der Metallplatten die Flüssigkeit aus den untern Tuchscheiben herauspreßt und sie dadurch unwirksam

macht, wozu noch Verluste an Electricität kommen, die dadurch hervorgerufen werden, daß die ausgepreßte Flüssigkeit über die tieferliegenden Metallplatten läuft. Da in den in verschiedenen Höhen befindlichen Theilen der Säule eine verschiedene Vertheilung der Electricitäten stattfindet, so ist auch die herablaufende Flüssigkeit electrisch verschieden von denjenigen Theilen der Säule, auf die sie herabläuft, diese Verschiedenheit gleicht sich aus, wie dieses allemal geschieht, wenn ein electrisch mehr positiver Körper mit einem weniger positiven oder mehr negativen zusammentrifft, und da die Electricität, die sich im Innern der Säule ausgleicht, an den Polen nicht mehr als unausgeglichen vorkommen kann, so ergibt sich, daß die Stärke des durch die Säule erregten electrischen Stromes darunter leiden muß.

Eine Einrichtung, welche die genannten Uebelstände beseitigt, ist der sogenannte Trogapparat, dessen Anordnung (von oben gesehen) in Fig. 265 gezeigt wird. In einem parallelepipedischen Kasten von Holz, dessen Wände ausgepicht sind, befinden sich senkrecht stehend die genau hineinpassenden Platten von Zink und Kupfer. Die erste

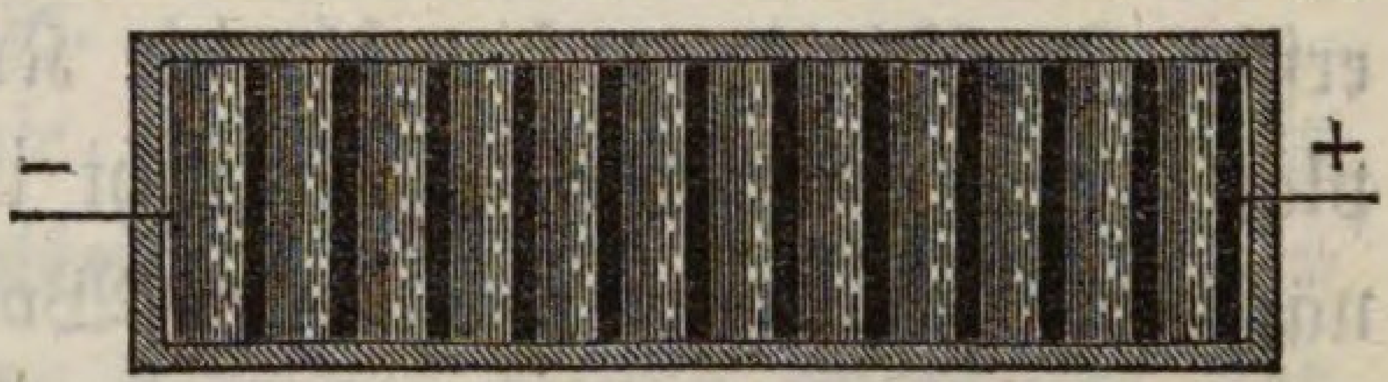


Fig. 265.

Zinkplatte und die letzte Kupferplatte stehen einzeln, in den Zwischengliedern ist stets eine Zink- und eine Kupferplatte zusammengelöthet. Zwischen den Platten befinden sich Zwischenräume, die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt werden. Man sieht, daß die Wirkung dieses Apparates dieselbe sein muß, wie die der Volta'schen Säule, die Anordnung der Metalle ist die nämliche, denn wie sich aus den Fig. 264 und 265 ergibt, ist der Trogapparat eigentlich nur eine horizontal gelegte Volta'sche Säule, und die Schwefelsäureschichten zwischen den Platten vertreten die Stelle der mit Säure getränkten Tuchscheiben. Der negative Pol ist an der ersten Zink-, der positive an der letzten Kupferplatte.

Der Trogapparat hat die Unbequemlichkeit, daß er sich nur sehr schwierig reinigen läßt, und außerdem sind Apparate, die sich nicht auseinander nehmen lassen, immer darum unangenehm, weil Reparaturen einzelner Theile nur schwer vorgenommen werden können. Bei der Wollaston'schen Kette, von welcher Fig. 266 den Querschnitt zweier Elemente angibt, ist dieser Nachtheil vermieden. Hier ist um eine Zinkplatte Z eine Kupferplatte K so herumgebogen, daß sie ihr möglichst nahe steht, ohne sie jedoch zu berühren, was auch durch die Holzstücke

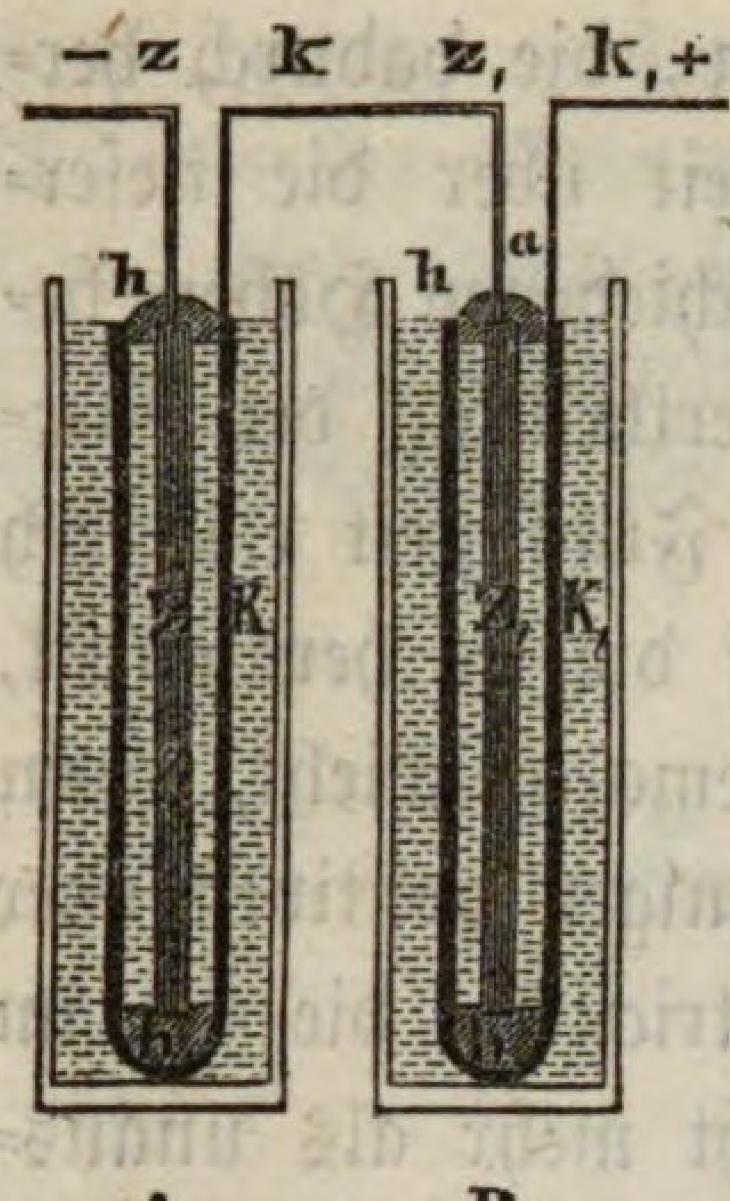


Fig. 266.

hh verhindert wird, ein Kupferstreifen k ist an die Kupferplatte, ein Zinkstreifen z an die Zinkplatte angelöthet. Dieser Apparat wird in ein Gefäß von Glas getaucht, in welchem sich verdünnte Schwefelsäure befindet. Vergleicht man diese Zusammenstellung mit der der Volta'schen Säule, so handelt es sich zunächst darum, den in dieser letzteren stattfindenden wiederholten Wechsel von Zink, Flüssigkeit und Kupfer auch in dem Wollaston'schen Apparate nachzuweisen. Man sieht, daß die Zinkplatte Z mit keinem andern Metalle, worauf hier hauptsächlich Rücksicht zu nehmen ist, wohl aber mit der den Zwischenraum zwischen ihr und K ausfüllenden Schwefelsäure in Berührung steht. Z vertritt also die Stelle der untersten Zinkscheibe der Volta'schen Säule, die zwischen Z und K stehende Schwefelsäure die der ersten Tuchscheibe, auf welche die Kupferplatte K folgt. Die Kupferplatte der Volta'schen Säule steht in Verbindung mit dem Zinke des nächsten Elementes, und bei der Wollaston'schen Kette wird diese Aufgabe erfüllt, wenn man den Kupferstreifen k des Elementes A mit dem Zinkstreifen z_1 des Elementes B zusammenbringt, worauf wieder dieselbe Reihenfolge Zink, Flüssigkeit, Kupfer eintritt, wie sie in A stattfindet. Darauf verbindet man wieder den Zinkstreifen z_2 von C mit dem Kupferstreifen k_1 von B u. s. w. Es ist also hier trotz der abweichenden Form dieselbe Aufeinanderfolge der einzelnen Körper und darum auch derselbe Erfolg. Jedes Element steht in einem eigenen Gefäße, und diese Gefäße nehmen, wenn sie wie die Gläser gewöhnlich sind, eine Cylinderform haben, einen nicht unbeträchtlichen Raum ein, ein Mißstand den man hebt, wenn man den Gefäßen oder Zellen eine flache Form gibt. Sind 2 Elemente mit einander verbunden, so berühren sich das Kupfer des einen und das Zink des andern da, wo k und z_1 sich begränzen. Würde man nun z_1 aus 2 Theilen zusammensetzen, wovon der eine von Z_1 bis a reichende aus Zink, die Fortsetzung von da an aus Kupfer bestände, so würde bei der Zusammenstellung der Kette weiter nichts geändert sein, als daß die Berührungsstelle der heterogenen Metalle nach a verlegt wurde, und der Erfolg würde darum doch derselbe bleiben. Man könnte z_1 ganz aus einem Kupferstreifen bestehen lassen, dann würde die Berührungsstelle der heterogenen Metalle da sein, wo der Kupferstreifen und die Zinkplatte

Z_1 zusammengelöthet sind. Es ist auch hier kein Grund vorhanden, warum eine Wirkungsänderung eintreten sollte, und da Streifen von ausgeglühtem Kupfer sich leichter biegen lassen und weniger zerbrechlich sind als solche von Zink, so werden auch in der Regel die beiden von den Metallen aufwärtsführenden Streifen k_1 und z_1 ganz aus Kupfer gemacht.

§. 255. Die Frage, ob in der Volta'schen Säule die gegenseitige Berührung heterogener Metalle oder die Berührung von Metall und Flüssigkeit die Ursache der wahrgenommenen Wirkung sei, war die Veranlassung zu der Zambonischen oder trockenen Säule, zu deren Construction gar keine Flüssigkeit verwendet wird, die also die Berührung von Flüssigkeit und Metall umgeht und in Beziehung auf ihre Stromwirkung zwar nur äußerst unbedeutend ist, aber in theoretischer Rücksicht und besonders darum, weil sie das zur Zeit empfindlichste Instrument ist, um ganz geringe Spuren von Electricität nachzuweisen, eine hohe Wichtigkeit besitzt.

Zur Herstellung dieser Säule werden Bogen von unächtem Silberpapier (Zinnfolie) und unächtem Goldpapier (Kupferfolie) an der Rückseite zusammengeklebt, kleine Scheiben daraus geschnitten und aus einer großen Anzahl derselben eine Säule gebildet, in welcher stets Silber- und Goldpapierseite auf einander liegen. Man kann leicht sehen, daß bei dieser Säule die zwischen den beiden Metallbelegen befindliche Papiermasse dieselbe Stelle einnimmt, die der Säure in der Volta'schen Säule zukommt, und außerdem haben wir noch die gegenseitige Berührung der heterogenen Metalle Kupfer und Zinn. Die Wirkung der trockenen Säule ist eine sehr schwache; doch kann sie bei Anwendung von etwa 100 Paaren am Goldblattelectrometer auch ohne Condensator eine Divergenz hervorbringen. Stellt man zwei solche Säulen neben einander so auf, daß bei der einen der +Pol (Zinn), bei der andern der —Pol (Kupfer) oben ist, während die unteren Enden beider Säulen durch einen Metallstreifen mit einander verbunden sind, und läßt man einen isolirten Goldblattstreifen dazwischen herabhängen, so wird dieser von dem einen Pole angezogen, er erhält nach der Berührung mit demselben dessen Electricität, wird nun abgestoßen und geht dann dem jenseitigen Pole zu, wo er seine Electricität abgibt, die dortige erhält und wieder zum ersten Pole zurückgeht. Rückt man die beiden Säulen genügend weit auseinander, so hört wegen der größeren Entfernung das Hin- und Hergehen des Goldblattstreifens

auf; wenn man aber dem Streifen selbst etwas Electricität mittheilt, so wird er sich zu demjenigen Säulenpole bewegen, der die ihm entgegengesetzte Electricität besitzt. Wird der Goldblattstreifen noch außerdem mit einem Condensator in Verbindung gesetzt, so erhält man das sogenannte Bohnenberger'sche Electroscop, dasjenige Instrument, vermittelst dessen man die kleinsten Mengen von Electricität nicht nur wahrnehmen, sondern auch ihre Natur (ob + oder —) bestimmen kann, und das sich seiner größeren Empfindlichkeit wegen namentlich zu den in §. 251 angeführten Versuchen über die electrische Spannung noch besser eignet als das gewöhnliche Goldblattelectrometer.

§. 256. Bei jeder von den im §. 254 beschriebenen Ketten befinden sich in jeder einzelnen Zelle neben der Säure die zwei verschiedenen Metalle, von denen das eine, das Zink, mit dem entgegengesetzten Metalle, dem Kupfer der vorhergehenden Zelle, das andere, das Kupfer, mit dem entgegengesetzten Metalle, dem Zinke der nachfolgenden Zelle in leitender Verbindung steht. Es geht aus diesem hervor, daß in der ersten Zelle die Zinkplatte, in der letzten die Kupferplatte allein stehen muß, und nach der in §. 253 angegebenen Ableitung der Spannung in der Kette ist die einzelne Zinkplatte als —Pol, die einzelne Kupferplatte als +Pol derselben zu erklären. Befestigt man an jedem dieser Pole einen Draht, und setzt man die beiden Drähte unter einander in leitende Verbindung, so ist die Kette geschlossen. Diese Schließung kann auch dadurch erzielt werden, daß man beide Drähte ohne daß sie sich berühren in ein Glas steckt, in welchem sich Wasser befindet, das man, um sein für sich geringes electrisches Leitungsvermögen zu erhöhen, mit Schwefelsäure ansäuern kann. In diesem Falle geht der Strom durch das angesäuerte Wasser von dem einen Pole zum andern, die +Electricität geht vom +Pol zum —Pol, die —Electricität dagegen macht den entgegengesetzten Weg. Ist es jedesmal ein Kupferdraht, welcher in diese sogenannte Schließungszelle taucht, so beobachtet man, daß an dem negativen Pole fortwährend kleine Gasbläschen aufsteigen, die man in einem darüber gestürzten Glase auffangen kann, und die sich bei näherer Untersuchung als Wasserstoffgas zu erkennen geben. An dem positiven Pole entwickelt sich kein Gas, man beobachtet aber, daß der den Pol bildende Kupferdraht sich nach und nach auflöst. Wird das in die Schließungszelle tauchende positive Polende nicht von Kupfer, sondern von einem Metalle gebildet, das sich nur schwer oxydirt wie z. B. Platin,

so findet keine Auflösung statt, sondern ein Entweichen von Gasblasen wie am negativen Pole, und diese Gasblasen sind Sauerstoff. Es werden daher bei dem Durchgehen des Stromes die beiden Bestandtheile des Wassers frei, und die Vergleichung der entwickelten Volumina der beiden Gase zeigt, daß auf je einen Raumtheil Sauerstoff 2 Raumtheile Wasserstoff abgesondert werden, daß also beide entwickelte Gasarten in demselben Verhältnisse zu einander stehen, wie es bei der Bildung von Wasser beobachtet wird. Wenn durch Consumtion von 2 Raumtheilen Wasserstoff und 1 Raumtheil Sauerstoff Wasser gebildet wird, so muß dieses zerlegt werden, wenn die 2 Gasarten sich in dem erwähnten Verhältnisse entwickeln. Das Resultat des Stromes ist also eine Zerlegung von Wasser, welche sich in folgender Weise erklären läßt. Bei der Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser legen sich die beiden chemischen Elemente Atom zu Atom neben einander, und bei dieser Berührung wird das eine, der Wasserstoff +, das andere, der Sauerstoff — electrisch. Ist dieses geschehen, so müssen in einem und demselben Wassermolecüle zwei entgegengesetzte Seiten verschiedene Electricitäten haben, und nach dem allgemeinen Gesetze, daß Gleichartiges sich abstößt, Ungleichartiges sich anzieht, muß in Beziehung auf die Stellung der Molecüle gegen einander, wenn wir eine Reihe derselben betrachten, ein ähnliches Verhältniß eintreten, wie man es etwa bei einer Reihe von kleinen neben einander befindlichen Magneten wahrnehmen würde. Es stehen bei den letzteren stets Nord- und Südpol sich gegenüber, und alle Glieder der Reihe sind also gleichmäßig gerichtet. Stellen (Fig. 267) die Kreise ebensoviele kleinste Theilchen des Wassers vor und die hellen und dunkeln Hälften derselben die die Wasser-Theilchen constituirenden



Fig. 267.

Sauerstoff- und Wasserstoffatome, so muß ihre Anordnung derartig sein, daß die beiden Elemente in der Reihe mit einander abwechseln. Sind A und B die beiden Pole der Kette, zwischen denen sich das Wasser befindet, so üben auch diese ihre electrische Wirkung aus, und dem positiven Pole A wird der electronegative, dem negativen Pole B der electropositive Bestandtheil des Wassers gegenüber stehen. Der Pol zieht das entgegengesetzt electrische Atom an, stößt das gleichnamig elec-

trische ab, übt also auf beide eine entgegengesetzte Wirkung aus, bei deren Befolgung die 2 Atome sich trennen müssen, wenn die Kraft, welche sie zusammenhält, die sogenannte chemische Verwandtschaft, nicht stärker ist als die der Kette. Ist letztere stärker, ist die Anziehung von a gegen A größer als die von a gegen b, so wird a an dem Pole A ausgeschieden, b verbindet sich mit c, d mit e, f mit g u. s. w., bis endlich z, das sich gegen den Pol B in demselben Verhältnisse befindet wie a gegen A, dort ebenfalls ausgeschieden wird. Die Folge dieses Vorganges ist eine Verbindung von b mit c, von d mit e, es ist ein Wassertheilchen weggekommen, der Rest ist in der der vorigen entgegengesetzten Ordnung gelagert. Bei der Ausscheidung gibt a seine Electricität ab, welche die entgegengesetzte am Pole A frei werdende neutralisirt, und durch Herbeiströmen des die Reihe az rings umgebenden Wassers wird die in derselben entstandene Lücke wieder ausgefüllt. Wäre die Wirkung des Stromes der Kette nur eine momentane gewesen, so würde auch jetzt keine weitere Aenderung eintreten, da aber der Strom fortwährend thätig ist, so erfolgt zunächst eine Umkehrung der die Reihe bx bildenden Wassertheilchen in der Weise, daß nunmehr c dem Pole A gegenüber steht, worauf die Ausscheidung an beiden Polen ihren Fortgang nimmt. An dem positiven Pole der Kette wird der Sauerstoff ausgeschieden, also ist dieser der electronegative Bestandtheil des Wassers, während der electropositive Bestandtheil, der Wasserstoff, an dem negativen Pole der Kette austritt. Hat das Metall, das den positiven Pol bildet, eine ansehnliche Verwandtschaft mit dem Sauerstoff, so scheidet sich dieser nicht gasförmig ab, sondern verbindet sich in dem Momente des Freiwerdens mit dem Metalle und das entstandene Oxyd löst sich in der Säure enthaltenden Flüssigkeit auf. Der Wasserstoff, dessen Verwandtschaft zu den Metallen gering ist, wird jedesmal frei.

Es wurde soeben angenommen, die zu den äußersten Platten der Kette führenden Drähte gehen in eine Zelle, welche verdünnte Schwefelsäure enthält, in die Schließungszelle. In diesem Falle ist die Kette geschlossen, denn die zwei in die Schließungszelle getauchten Metalle stellen die Pole der Kette vor, und durch die Flüssigkeit der Zelle sind sie mit einander in leitender Verbindung. Hat man (Fig. 268) die Kette von 4 Elementen ABCD, so kann D als Schließungszelle betrachtet werden, und die mit der ersten Platte k_1 verbundene Platte z_4 ist deren einer (+), k_4 ist der andere (—) Pol. Es muß also in

D eine Wasserzerlegung stattfinden. Man kann aber auch A, B und D als Kette gelten lassen, dann ist C die Schließungszelle, und auch in C muß Wasser zerlegt werden. Das Gleiche gilt für A und B, folglich haben wir Wasserzerlegung überall. Die Richtung der Pfeile gibt die Richtung des positiven Stromes in der Kette an.

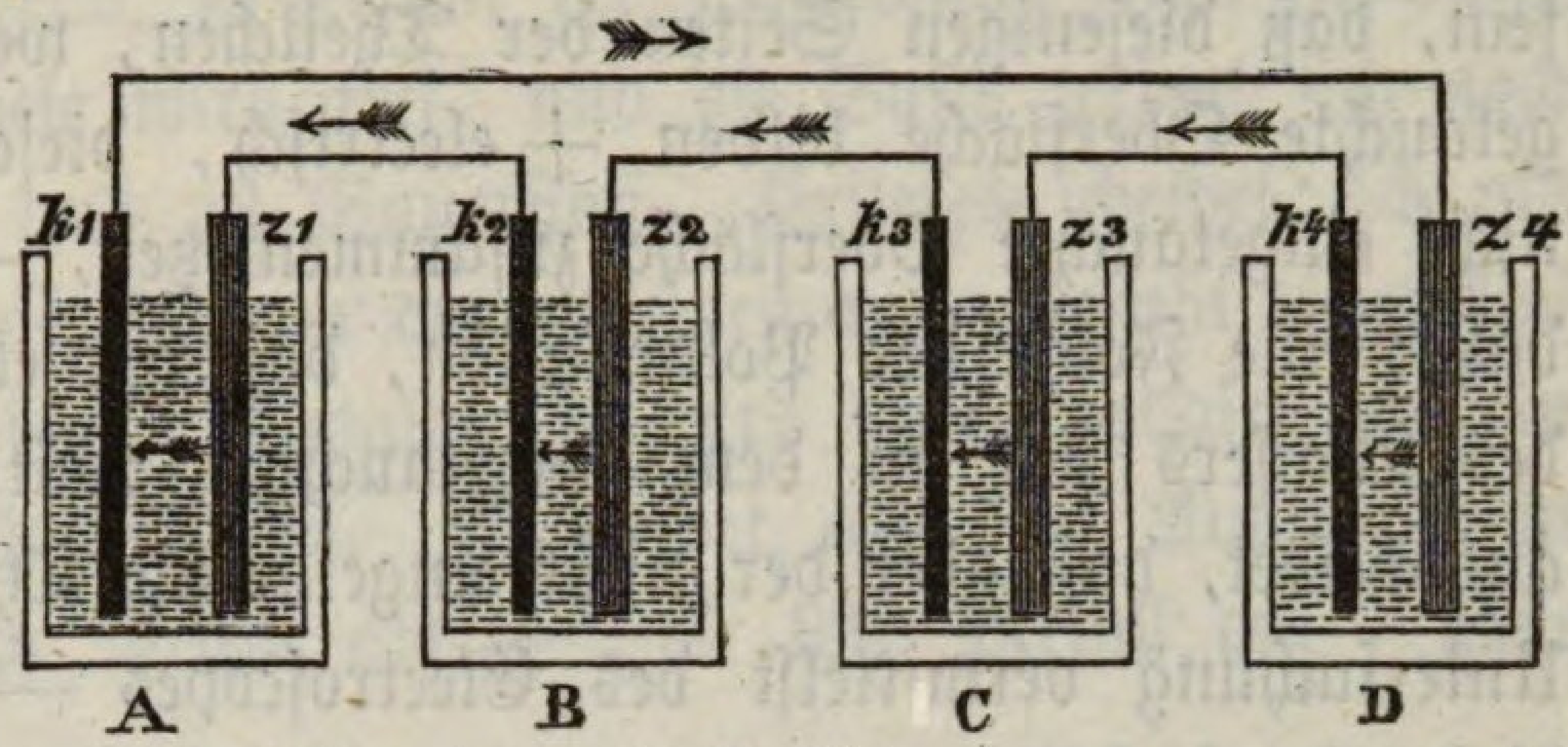


Fig. 268.

§. 257. Hat man eine Kette geschlossen, so zeigt sich bald, daß die Wasserzerlegung in allen Zellen in der Weise vor sich geht, daß der Wasserstoff sich am Kupfer ausscheidet, während der Sauerstoff sich mit dem Zinke verbindet. Vergleicht man die oben (§. 253) gegebene Erklärung der Kettenwirkung, derzufolge das Zink den electronegativen Bestandtheil jedes Elementes ausmacht, mit der Thatsache, daß an ihm sich der Sauerstoff absondert, so ergibt sich, daß entweder der Sauerstoff oder das Zink nicht electronegativ sein könne. Man kommt daher auf einen Widerspruch mit dem eben erwähnten Satze. Dieser Widerspruch ergibt sich jedoch als ein nur scheinbarer, wenn man annimmt, daß in dem in einer Säure eingetauchten Metalle ein ähnlicher Vorgang stattfinde, wie wir ihn oben bei der Flüssigkeit angenommen haben. Gesetzt, in Fig. 269 sei die Electricitätsvertheilung angegeben, wie sie bei der Berührung von Zink und Wasser stattfindet, und die Kreise bedeuten die Molecüle des Wassers, während die Quadrate die des Zinkes vorstellen, so wird sich im Wasser der Zustand ergeben, daß jedes Molecül auf der dem Zinke zugewandten Seite electronegativ, auf der abgewandten dagegen electropositiv ist. Man nennt das Wasser in diesem Zustand polarisirt. Es kann jedoch auch das Zink polarisirt sein, und in diesem Falle ist die dem Wasser zugewandte Seite eines jeden seiner Molecüle +, auf der abgewandten Seite — electrisch. Ist das Zink in dem Wasser zum Theile eingetaucht, so wird die Electricitätsvertheilung in seinen einzelnen Molecülen etwas anders sein, als es der Fall wäre, wenn es blos auf einer einzigen Seite davon berührt würde, aber jedenfalls wird die Vertheilung derartig

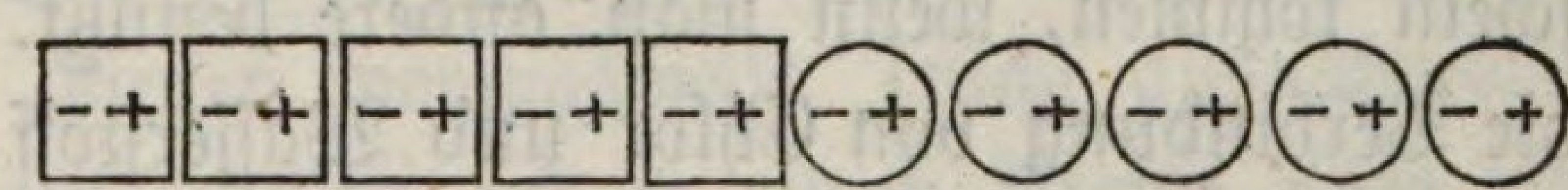


Fig. 269.

sein, daß diejenigen Seiten der Theilchen, welche die im Wasser eingetauchte Oberfläche bilden + electrisch, diejenigen aber, welche die nicht eingetauchte Oberfläche zusammensetzen, — electrisch sind. Es ist daher eine Folge der Polarisation, daß der electronegative Sauerstoff des Wassers sich an dem eingetauchten positiven Theile des Zinkes ausscheidet, daß aber der nicht eingetauchte Theil des letzteren bei der Untersuchung vermittelst des Electroscopes — Electricität zeigt, wie dieses in §. 251 angegeben wurde. In Folge dieser Polarisation wird das Zink, so weit es in die Flüssigkeit eingetaucht ist, zum +, das Kupfer zum — Pole, es entsteht also der Gegensatz zu der früheren Annahme.

§. 258. Soll Wasser durch den electrischen Strom in seine Bestandtheile zerlegt werden, so muß die trennende Kraft des letzteren größer als diejenige sein, welche Wasserstoff und Sauerstoff beisammen zu halten bestrebt ist, und die man mit der Bezeichnung chemische Verwandtschaft zu belegen pflegt. Diese trennende Kraft des Stromes ist größer bei stärkerer Spannung, und darum kann man bei Anwendung von Ketten starker Spannung auch solche Verbindungen zerlegen, die noch fester sind als das Wasser. So ist es Davy gelungen, die vorher für unzersetzbar betrachteten Körper Kali, Natron u. s. w. in ihre Bestandtheile Sauerstoff und je ein leicht oxydirbares Metall von geringem specifischen Gewichte zu trennen.

Ganz analog mit den Vorgängen, welche man an den Sauerstoff-Verbindungen der Körper beobachtet, sind diejenigen, welche zum Vorschein kommen, wenn man andere benützt. Hat man z. B. Salzsäure, die Verbindung von Chlor und Wasserstoff angewendet, so sondert sich am positiven Pole statt des Sauerstoffs Chlor ab. Tauchen die beiden Pole in die geschmolzene Verbindung eines Metalles mit Chlor, so geht ersteres an den negativen Pol. Da die chemische Verwandtschaft zwischen dem Chlor und den Metallen im Allgemeinen geringer ist als die zwischen dem Metalle und dem Sauerstoff, so geht auch ihre Trennung leichter vor sich, und man benützt dieses Verfahren zur Darstellung leicht oxydirbarer Metalle.

Salzlösungen werden ebenfalls in zwei Bestandtheile zerlegt, von denen der eine, die Basis, an den — Pol, der andere, die Säure, an an den + Pol geht. Die Basis besteht chemisch genommen wieder aus 2 Stoffen, einem Metalle und Sauerstoff, und diese Verbindung kann je nach dem Metalle eine mehr oder weniger feste sein. Ist die Ver=

wandtschaft nicht bedeutend, so zerfällt die Salzlösung nicht in Basis und Säure, sondern diese wird frei, und die Basis zerlegt sich noch einmal in das Metall und in Sauerstoff. Ersteres scheidet sich als solches am negativen Pole, letzterer am positiven aus. Besteht dieser Pol aus einem leicht oxydirbaren Metalle, so wird dieses oxydirt und in der frei gewordenen Säure gelöst. Es findet also ein Austausch in der Weise statt, daß sich Metall am + Pole löst, Metall am — Pole ablagert.

Bei der Zerlegung von Salzlösungen ist es möglich, daß die ausgeschiedenen Stoffe im Augenblicke des Freiwerdens eine chemische Rückwirkung auf die übrige Flüssigkeit ausüben, und so entstehen secundäre chemische Processe, die von dem electrischen Vorgange nur mittelbar abhängig sind. Schaltet man z. B. zwischen die beiden Pole eine Lösung von Salmiak (Verbindung von Chlor und Ammonium, das selbst wieder aus Stickstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist) ein, so scheidet sich am negativen Pole Ammonium aus, am positiven Chlor. Das Ammonium (NH_4) zerlegt das umgebende Wasser, nimmt dessen Sauerstoff und wird zu Ammoniak (NH_4O), während der Wasserstoff des Wassers frei wird. Das Chlor, das sich am + Pole ausscheidet, zerlegt die Salmiaklösung indem es ihr einen Theil des Stickstoffs entzieht und mit diesem Chlorstickstoff (NCl_3) bildet, worauf die übrigen Bestandtheile des Salmiaks sich zu Salzsäure (HCl) zusammengruppiren.

Man nennt die Zerlegung chemischer Verbindungen durch den electrischen Strom Electrolyse, die zerlegte Verbindung heißt Electrolyt. Als Electrolyte dienen vorzugsweise (nicht ausnahmslos) solche chemische Verbindungen, welche aus je einem Atome eines Elementes oder einer chemischen Verbindung zusammengesetzt sind, wie z. B. Wasser (1 Atom Sauerstoff + 1 Atom Wasserstoff), schwefelsaures Kali (1 Atom Schwefelsäure + 1 Atom Kali).

Wird an dem negativen Pole einer geschlossenen Kette Wasserstoff frei, so entwickelt sich am positiven so viel Sauerstoff als nothwendig ist, um mit dem Wasserstoff Wasser zu bilden, auf 2 Volumina Wasserstoff also 1 Volumen Sauerstoff, oder dem Gewichte nach auf 1 Gewichtstheil Wasserstoff 8 Gewichtstheile Sauerstoff. Die ausgeschiedenen Stoffe verhalten sich mithin wie ihre Atomgewichte (§. 25). Ist das Material des positiven Poles Zink, so wird der Sauerstoff nicht als solcher ausgeschieden, denn er verbindet sich mit dem Zinke zu Zink-

oxyd, das sich in der umgebenden Säure löst. In dem Zinkoxyde verhält sich das Zink zum Sauerstoff wie 32.6 zu 8, und es muß daher auf je 1 Gewichtstheil des am — Pol ausgeschiedenen Wasserstoffs eine Auflösung von 32.6 Theilen Zink des + Poles erfolgen. Verwendet man zur Bildung der Kette gewöhnliches Zink, so wird dieses von der Säure, in der es sich befindet, an und für sich angegriffen, und der Verlust an dem Metalle ist also viel größer, als sie der Menge des am — Pole austretenden Wasserstoffes und damit auch der Stärke des Stromes entspricht. Man vermeidet diesen Mißstand dadurch, daß man das Zink vorher mit Quecksilber überzieht, es amalgamirt.

Läßt man einen Strom der Reihe nach durch verschiedene Zellen gehen, deren jede einen andern flüssigen Electrolyten enthält, so stehen die Gewichte der ausgeschiedenen Stoffe in sämmtlichen Zellen zu einander in demselben Verhältniß, in dem ihre Atomgewichte stehen; es wird daher von allen Stoffen eine gleiche Anzahl von Atomen ausgeschieden. Hat man z. B. in der einen Zelle Wasser, in der andern geschmolzenes Chlorsilber, so verhalten sich die Gewichte der ausgeschiedenen Mengen von Wasserstoff, Sauerstoff, Silber und Chlor wie 1 : 8 : 108 : 35.5. Man nennt diese Norm das electrolytische Gesetz.

Auf der Zerlegung von Metallsalzen, deren Metall zum Sauerstoff keine große Verwandtschaft hat, beruht die galvanische Vergoldung und Versilberung. Derjenige Körper, welcher vergoldet oder versilbert werden soll, wird als negativer Pol einer Kette benützt, in deren Schließungszelle sich die Gold- oder Silberlösung befindet. Das Edelmetall scheidet sich aus und lagert sich an dem Pole ab.

Wird ein Metall in Berührung mit einem andern negativ electrisch (§. 253), so verringert sich dadurch seine Neigung, sich mit dem Sauerstoff, der selbst in Berührung mit andern Stoffen negativ wird, zu verbinden, während die des berührenden (electropositiven) Metalles wächst, und wenn beide zusammen in Umstände versetzt werden, unter denen sie jedes für sich Sauerstoff aufnehmen würden, so wird die Oxydation von dem negativen Metall weg auf das positive gelenkt. Man benützt diesen Umstand, wenn man verhindern will, daß ein Metall sich oxydire; man bringt es in Berührung mit einem weniger theuren electropositiveren. So kann man Kupfer und Eisen durch Zink schützen (armiren). Das Meerwasser hat die Eigenschaft, den Kupferbeschlag der Schiffe stark anzugreifen, und da dessen Wiederherstellung mit bedeutenden Kosten verbunden ist, hat Davy den Vorschlag gemacht, das Kupferblech dadurch zu armiren, daß man Zinknägel in dasselbe einschlägt, die jedoch nur den Zweck der Armirung, nicht den der Befestigung

der Kupferplatten haben. Für sich entspricht der Erfolg dem Zwecke, und es steht der Einführung des Vorschlages in's practische Leben nur der Umstand im Wege, daß auf die nun ganz blank bleibenden Kupferplatten sich so viele Meerthiere u. s. w. niederlassen, daß dadurch das Schiff in der Schnelligkeit seiner Bewegung gehindert wird.

Eine practische Anwendung der secundären Wirkungen in der Zersetzungsquelle der Kette ergibt sich bei Anwendung einer Lösung des Bleizuckers (essigsaures Bleioxyd). Am positiven Theile der Kette scheidet sich Sauerstoff aus; dieser verbindet sich aber alsbald mit einem Theile des Bleioxydes der Lösung, und das Endresultat ist eine Ausscheidung von Bleihyperoxyd an dem + Pole. Durch nur sehr kurze Zeit dauernde Verwendung von Metallgegenständen von beliebiger Form, wie Tischglocken u. s. w. an der Stelle des + Poles kann man so dünne Ueberzüge von Bleihyperoxyd auf diesen Gegenständen hervorbringen, daß sie den Seifenblasen ähnlich die Interferenzerscheinungen des Lichtes zeigen (§. 185), und so entstehen die sogenannten Nobili'schen Farbenringe, die man vielfach zur Verzierung von Metallgegenständen angewendet findet.

§. 259. Der Umstand, daß die durch Electrolyse getrennten Körper je nachdem sie an den einen oder den andern Pol gehen, ganz bestimmten Character zeigen, hat die Veranlassung zu einer besonders von Berzelius ausgebildeten Theorie, der electrochemischen, gegeben, derzufolge das was man bei der Berührung von heterogenen Metallen, wie z. B. von Zink und Kupfer beobachtet, die Trennung der beiden Electricitäten, auch bei der Berührung der Atome der verschiedenen chemischen Elemente vorausgesetzt wird. Kommt ein Atom des einen Körpers mit einem Atom des andern zusammen, so wird das eine +, das andere —electrisch, und je größer die dadurch hervorgebrachte Spannung, um so bedeutender ist die sogenannte chemische Verwandtschaft. Man hat so eine Reihe der gegenwärtig angenommenen Elemente aufgestellt. Die Verwandtschaft der letzteren wird als um so größer angenommen, je weiter sie in der Reihe aus einander stehen, während das eine bei der Electrolyse an den +, das andere an den — Pol geht. Für die wichtigeren Stoffe ist diese Reihe nachfolgende:

—

Sauerstoff	Kohlenstoff	Kupfer	Aluminium
Schwefel	Antimon	Wismuth	Magnesium
Stickstoff	Silicium	Blei	Calcium
Chlor	Gold	Eisen	Baryum
Brom	Platin	Zink	Natrium
Jod	Quecksilber	Wasserstoff	Kalium
Phosphor	Silber	Mangan	+

Diese Reihe ist zumeist dem chemischen Verhalten der Stoffe entnommen, die Resultate der eigentlichen Electrolyse haben einen geringeren Antheil daran, da in den meisten Fällen die betreffenden Electrolyte fehlen. Es wäre eine Uebertreibung, wenn man z. B. schließen wollte, daß in einer flüssigen Legirung von Gold und Platin das erstere Metall an den +, das letztere an den —Pol gehen müsse. Auch in Betracht des rein chemischen Verhaltens gibt es der Abweichungen in Hülle und Fülle. So z. B. hat das Chlor zu den sämmtlichen Metallen eine jedenfalls größere Verwandtschaft als der Stickstoff, obwohl der Spannungsreihe zufolge der entgegengesetzte Fall eintreten müßte.

§. 260. In jeder Kette, welche eine Flüssigkeit enthält, findet in jeder Zelle eine Zersetzung der Flüssigkeit statt, und es scheidet sich nach §. 258 ein Theil derselben an der einen, ein anderer an der andern Metallplatte der Zelle aus. Hat man z. B. eine Kette, die aus Zink, Kupfer und mit Schwefelsäure versetztem Wasser zusammengesetzt ist, so oxydirt sich vermöge der Sauerstoffabsonderung das Zink und löst sich in der Säure auf, während der Wasserstoff sich gasförmig am Kupfer ausscheidet. Dieser Wasserstoff adhärirt an dem Kupfer, und nach einiger Zeit wird letzteres fast ganz mit Gasblasen überdeckt sein, worauf die Wirkung der Kette nicht mehr so ist, als hätte man eine Platte von Kupfer, denn dieses kommt ja mit der Flüssigkeit kaum noch in Berührung, sondern eine solche von Wasserstoff, und da dieser nach der im vorigen Paragraphe angegebenen Reihe sich electrisch fast eben so verhält wie das Zink, so wird der Erfolg nahezu derselbe sein, als hätte man das Kupfer durch Zink ersetzt; da die Wirkung der Kette darauf beruht, daß die Metalle verschieden sind, so wird ihre Wirkung in demselben Maaße schwächer, als sich die Kupferplatte mit Wasserstoff bedeckt. Zur Verhütung dieses Mißstandes hat Daniell eine Kette construirt, bei welcher neben Kupfer und Zink 2 verschiedene Flüssigkeiten, verdünnte Schwefelsäure und Kupfervitriollösung verwendet werden. Bei dieser Kette befindet sich ein Kupferblech k (Fig. 270) in einem Gefäße a, dem sogenannten Diaphragma, das aus einer porösen Substanz wie z. B. unglasirtes Porcellan gefertigt ist. Dieses Porcellangefäß ist umgeben von einem Zinkbleche z, welches selbst wieder in dem Glasgefäße b steht. Das Gefäß a ist mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt, der Raum zwischen a und b enthält außer dem Zinke noch verdünnte Schwefelsäure, das

Kupfer k der einen Zelle ist mit dem Zinke z_1 der nächstfolgenden in derselben Weise construirten Zelle verbunden, das Zink z mit dem Kupfer der nächstvorhergehenden, das Gefäß a endlich ist so porös, daß die beiden Flüssigkeiten durch dasselbe hindurch mit einander in Verbindung stehen,

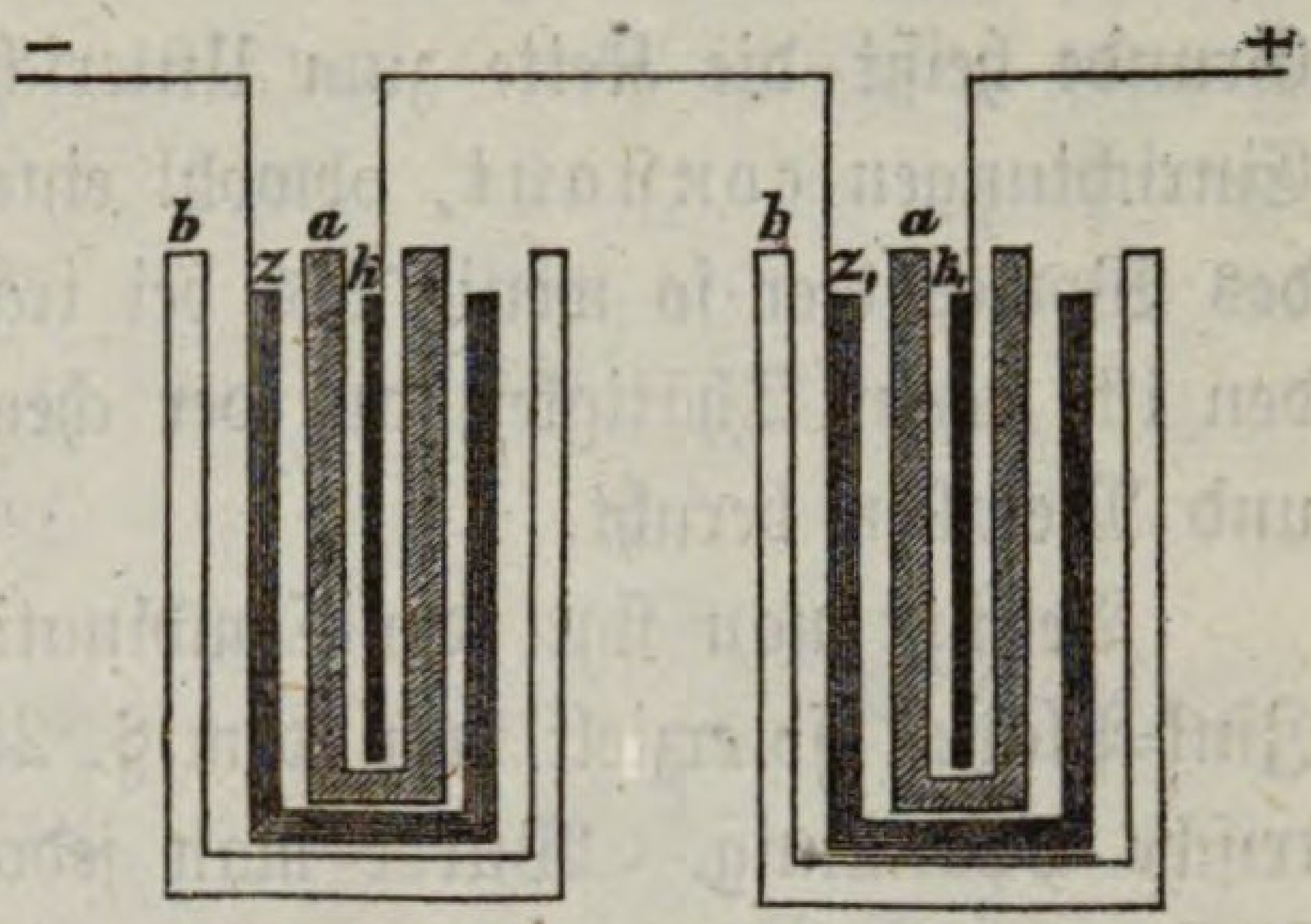


Fig. 270.

ohne sich jedoch vollständig mischen zu können. Ist die Kette geschlossen, so geht ebenso wie in den bisher erwähnten Fällen Sauerstoff an das Zink und verbindet sich mit ihm zu Zinkoxyd, das sich in der umgebenden Schwefelsäure löst. Ist dieser Vorgang durch Fig. 271 ver-

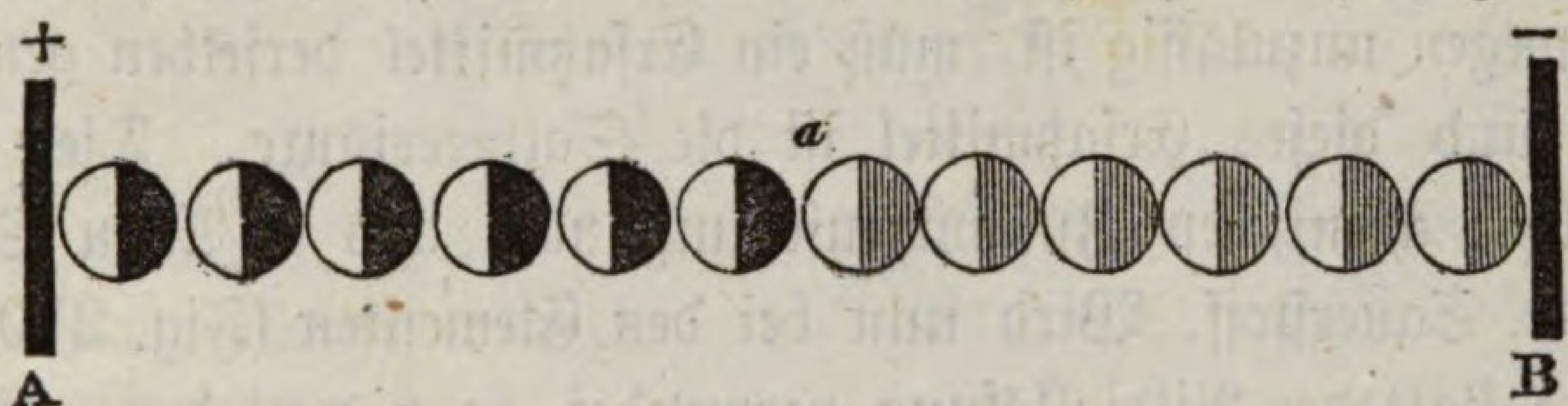


Fig. 271.

sinnlicht, so findet derselbe wie in Fig. 267 statt, jedoch nicht bis zu dem andern Pole, sondern nur bis zu der Gränze der Kupfervitriollösung und der Schwefelsäure, die in a sein möge. Hier findet eine Einwirkung des Wasserstoffes des letzten Säuremolecüls auf die Vitriollösung statt, das Kupferoxyd in derselben wird seines Sauerstoffes beraubt, der mit dem Wasserstoffe Wasser bildet, und von nun an bis zu der Kupferplatte B haben wir uns die Polarisation so zu denken, daß die hellen Halbkreise Sauerstoff enthalten, die dunkeln dagegen metallisches Kupfer. Die Schwefelsäure, der weitere Bestandtheil des Kupfervitriols, wird frei und mischt sich mit der Flüssigkeit, sie dient als Ersatz für diejenige Säure, die zur Auflösung des am + Pole entstandenen Zinkoxydes verwendet wird. Es findet so ein gegenseitiger Austausch des Inhaltes der einzelnen Molecüle unter einander statt, und an dem —Pole endlich sondert das zunächststehende Molecül sein Kupfer aus. Das Resultat ist daher eine Auflösung von Zink bei A, ein Niederschlag von Kupfer bei B, die Kupfervitriollösung wird daher nach und nach blasser. Bei dieser Einrichtung der Kette findet kein Ueberziehen der Kupferplatte mit Wasserstoff statt, und der Strom dauert so lange fort, als unzersetzter Kupfervitriol vorhanden ist, als die Flüssigkeit den sich bildenden Zinkvitriol lösen kann. Aus diesem

Grunde heißt die Kette zum Unterschiede zu den früher angegebenen Einrichtungen constant, obwohl eine Beständigkeit im strengen Sinne des Wortes hier so wenig als bei irgend einer andern Kette vorhanden ist, deren Thätigkeit auf der chemischen Wirkung von Flüssigkeiten und Metallen beruht.

Benützt man statt der Combination Zink-Kupfer die Combination Zink-Platin, so erzielt man dem §. 253 zufolge eine bedeutendere electrische Spannung. Würde man jedoch hier wieder wie im vorigen Falle das Kupfer jetzt das Platin in eine Lösung von Kupfervitriol bringen, so würde sich das Kupfer auf dem Platin niederschlagen, und nach kurzer Zeit wäre die Wirkung der Kette die einer gewöhnlichen Daniell'schen, weßhalb man diesen Niederschlag vermeiden muß. Da die Anwendung von Platinlösung statt der Vitriollösung des hohen Preises wegen unzuläßig ist, muß ein Ersatzmittel derselben genommen werden, und dieses Ersatzmittel ist die Salpetersäure. Diese Säure besteht ihrer chemischen Zusammensetzung nach aus 1 Atom Stickstoff und 5 At. Sauerstoff. Wird nun bei den Elementen (Fig. 270) Salpetersäure statt der Vitriollösung verwendet, so nimmt der von außen durch das Diaphragma hereinkommende Wasserstoff der Salpetersäure einen Theil ihres Sauerstoffes, und diese wandelt sich in salpetrige Säure (NO_3) um, welche dann in rothen Dämpfen entweicht. Wendet man die in Fig. 271 angedeutete Polarisation der Flüssigkeitstheilchen auf diesen Fall an, so hat man sich unter den der Platte B zugewandten Halbkreisen bis zum Diaphragma bei a hin die salpetrige Säure, unter den abgewandten den Sauerstoff zu denken. Von a an bis zur Zinkplatte A hin stellen wie früher die A zugewandten Halbkreise Sauerstoff, die abgewandten Wasserstoff vor. Die Salpetersäure verliert, wenn sie in salpetrige Säure umgewandelt wird, 2 Atome Sauerstoff $[(N + O_5) - (N + O_3) = 2O]$, und es kommen daher auf jedes Atom der zersetzten Säure 2 Atome zersetzten Wassers. Man nennt diese Kette die Grove'sche. Bei der Bunsen'schen Kette ist das Platin durch Kohle ersetzt, welche man dadurch erhält, daß man Coakspulver mit Zuckersyrup zu einem Teige verarbeitet, dem man die gewünschte Form gibt, worauf er durch Glühen in einem geschlossenen Raume verkohlt (gehärtet) wird. Durch Kohle erzielt man eine noch bedeutendere Spannung als mit Platin, mithin auch eine höhere Wirkung der Kette. Im Uebrigen ist die Einrichtung des Kohlenelementes ganz die des Platinelementes.

Auch Eisen kann an der Stelle des Platins genommen werden, wenn man sehr starke Salpetersäure anwendet. Das Eisen wird in einer Salpetersäure, deren specifisches Gewicht 1.35 und darüber beträgt, passiv, d. h. es überzieht sich in der Säure mit einer Oxydschichte, welche dem Platin analog wirkt, aber aufgelöst wird, wenn die Salpetersäure schwach ist.

Wenn ein Metall an dem negativen Pole einer Kette niedergeschlagen wird, so folgen seine kleinsten Theilchen in ihrer Anlagerung den Umrissen des Poles und stellen einen vollständigen Siegelabdruck desselben dar, der wenn er dick genug ist, abgenommen werden kann. Darauf beruht eine technische Anwendung, die unter dem Namen Galvanoplastik bekannt ist.

Eine Matrize m (Fig. 272), deren Form wiedergegeben werden soll, wird, wenn sie nicht selbst von Metall ist, an der Seite, auf welcher sich der Abdruck bilden soll, mit Graphit (Kohlenstoff) eingerieben und in den Kupfervitriollösung enthaltenden äußern Cylinder a des Apparates gebracht, während der innere Cylinder b, dessen untere Seite von einer thierischen Membrane (Schweinsblase) gebildet ist, Zink und verdünnte Schwefelsäure enthält. Ein Kupferdraht k verbindet das Zink mit der Matrize. Bei dieser Einrichtung bildet der Apparat ein Zinkkohlenelement, dessen einer (+)Pol am Zinke, dessen anderer am Graphite ist, während der Kupferdraht die Verbindung der beiden Pole herstellt, die Kette also schließt. Bei dem Contacte des Zinkes mit der Schwefelsäure werden seine Oberflächentheile +electrisch, also scheidet sich der Sauerstoff des zersetzten Wassers an ihm aus und bildet mit ihm Zinkoxyd, das sich in der umgebenden Säure auflöst, der Wasserstoff wandert auf die bereits angegebene Weise gegen die thierische Membran fort, die Membran spielt die Rolle des Diaphragmas, jenseits des Diaphragmas übernimmt ganz nach der bei der Daniell'schen Kette stattfindenden Weise das metallische Kupfer die Stelle des Wasserstoffs und scheidet sich als positiver Bestandtheil an dem Graphite aus, dessen Oberfläche in Berührung mit der Flüssigkeit —electrisch geworden ist. Es geht mithin in dem Elemente der positive Strom vom Zinke durch die Flüssigkeit zum Graphite. Andererseits wird derjenige Theil der Zinkmolecüle, welcher von der Säure abgewendet, also dem Innern des Zinkstückes zugewendet ist —electrisch und diese —Electricität geht durch das Kupfer zum Graphit, während von letzterem aus demselben Grunde die + Electricität durch das Kupfer zum Zink geht. Würde man den Kupferdraht in 2 Theile theilen, von denen der eine mit dem Zink, der andere mit dem Graphit verbunden ist, so würde der erstere als mit dem —electrischen Körper (den von der Säure abgewandten Theilen der Zinkmolecüle) in Verbindung stehend ebenfalls —electrisch werden, und diese —Electricität würde noch dadurch erhöht, daß auch das Kupfer selbst in Berührung mit Zink —electrisch

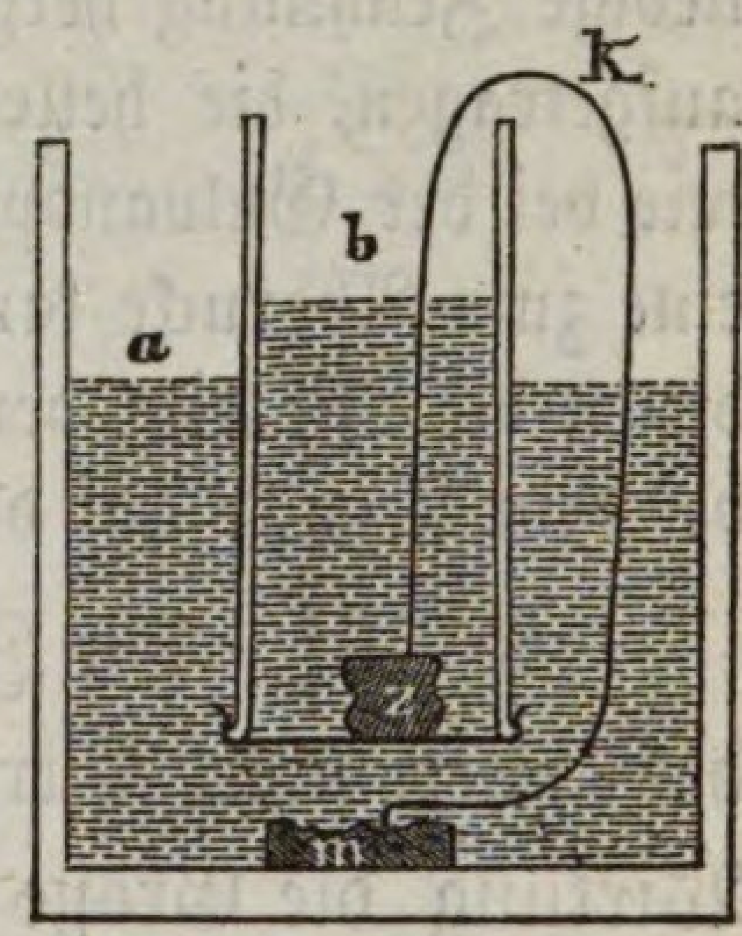


Fig. 272.

wird (§. 251), es wäre also an diesem Kupfer der negative Pol des Elementes, während der positive Pol an demjenigen Kupferstücke sich befinden muß, das mit dem Graphite in Berührung steht.

Ist die Matrize selbst von Metall, jedoch nicht von Zink, so wird die vorhergehende Einreibung mit Graphit nicht unumgänglich nöthig. Metallene Matrizen müssen an denjenigen Stellen, an welchen sich kein Kupfer niederschlagen soll, durch einen Ueberzug von Siegellacklösung geschützt werden, weil sie sich sonst ganz in Kupfer einhüllen, und einen eben solchen Ueberzug gibt man dem Kupferdrahte k so weit er in die Vitriollösung taucht, mit Ausnahme jedoch der Berührungsstelle des Drahtes mit der Matrize.

Ganz analog der Galvanoplastik ist die Galvanographie, bei welcher es sich darum handelt, Kupfertafeln zu erhalten, von welchen man wieder Abdrücke auf Papier machen kann. Zu diesem Zwecke wird auf eine Metallplatte mit Hülfe einer aus zerriebenen Coaks dargestellten Farbe eine beliebige Zeichnung hergestellt. An den dunkleren Stellen wird die Farbe dicker aufgetragen, die hellen bleiben davon frei. Läßt man eine solche Platte sich wie bei der Galvanoplastik mit Kupfer überziehen, so ist der Ueberzug wieder eine zum Abdrucke taugliche Kupferplatte, in welcher diejenigen Stellen, an denen die Matrize den dicken Farbenüberzug besitzt, vertieft sind und daher bei dem Drucke auf dem Papiere schwarz werden.

§. 261. Die Zerlegung chemischer Verbindungen ist eine Wirkung des electrischen Stromes, und da wir (§. 17) aus der Größe einer Wirkung die Größe der Ursache bestimmen, so ergibt sich aus der Electrolyse ein Mittel, die Stärke eines Stromes zu messen. Nach Faraday's Vorgange benützt man die Zerlegung des Wassers zu diesem Zwecke. In einem Gefäße, dem sogenannten Voltameter, befinden sich in mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser getaucht zwei parallele einander sehr nahe Platinplatten als Pole einer Kette. Es scheidet sich ein Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff (Knallgas) aus und wird aufgefangen und gemessen. Nach Jacobi wird diejenige Stärke des Stromes, bei der in jeder Minute 1 Cubikcentimeter Knallgas von der einer Temperatur von 0° und einem Drucke von 760^{mm} entsprechenden Dichtigkeit entwickelt wird, als Einheit angenommen.

Man kann aus der Menge des frei gewordenen Knallgases ganz gut die Stärke mehrerer Ströme vergleichen, es verhalten sich dieselben wie die Gasmengen; doch hat, wenn es sich um die Frage handelt, welche chemische Verbindungen zerlegt werden sollen, wenn sie außer dem Voltameter eingeschaltet werden, noch die Dichtigkeit des Stromes einen bedeutenden Einfluß. Haben die Pole, an denen sich die getrennten Stoffe ausscheiden sollen, eine große Fläche, so hat der Strom

eine geringere Dichtigkeit als wenn die Polflächen klein sind, und in letzterem Falle ist er eher geeignet Körper zu trennen, die durch starke chemische Verwandtschaft verbunden sind, als im ersteren. Man bekommt nach Bunsen die Dichtigkeit eines Stromes, wenn man seine Stärke durch die Fläche der Pole dividirt, wobei die Größe von 1 Quadratmillimeter der letzteren als Einheit genommen wird.

§. 262. Mit Hülfe des Voltameters läßt sich die Norm nachweisen, nach welcher sich die Stärke eines Stromes in ihrer Abhängigkeit von der Construction der Kette richtet. Diese Norm wurde von Ohm aufgefunden und heißt nach ihm Ohm'sches Gesetz.

Die Stärke des Stromes ist der Spannung der Kette direct, dem Leitungswiderstand, den er sei es in den einzelnen Zellen, sei es in dem Schließungsbogen erfährt, umgekehrt proportional, d. h. er ist um so stärker, je stärker die Kette ist, und je weniger Leitungswiderstand er in den Körpern erfährt, die er durchwandern muß. Das Vermögen der einzelnen Körper, die Electricität zu leiten, ist verschieden, die einen leisten der durchgehenden Electricität einen größeren, die andern einen kleineren Widerstand. Letzterer ist kleiner bei den Metallen, viel größer bei den Flüssigkeiten, und bei einem und demselben Stoffe wechselt der geleistete Widerstand je nach der Länge und dem Querschnitte. Ein langer dünner Draht leitet schlechter als ein kurzer dicker, das Leitungsvermögen ist dem Querschnitte direct, der Länge umgekehrt proportional.

Da die electrische Spannung, welche man durch ein einziges Element erhält, dem §. 251 zufolge nur unbedeutend ist, wenn man sie mit der durch die Electrisirmaschine erzielten vergleicht, so wird auch die durch eine Kette erzielte nicht groß, wenn man diese aus einer mäßigen Anzahl von Elementen zusammensetzt. Das Ueberspringen von Funken auf größere Distanzen findet daher unter gewöhnlichen Umständen nicht statt. So konnte Jacobi bei einer Kette von 12 Platin-Elementen die Pole bis auf 0.00005 Zoll einander nähern, ohne Funken zu bekommen. Gassiot hat jedoch bei einer Kette von 3520 Kupferzinkelementen beobachtet, daß Funken bis auf 0.02 Zoll übersprangen, und daß die Pendel eines Goldblattelectrometers divergirten, wenn man ihnen einen Pol der Kette auf 2—3 Zolle näherte. Die Stärke der Wirkung der Berührungselectricität beruht nicht auf der Größe der Spannung, sondern auf der Dauer derselben, und die Geringfügigkeit der Spannung ist insofern von Vortheil, als die Iso-

lirung der electrischen Körper ohne Vergleich weniger Schwierigkeiten veranlaßt als dieses bei der Reibungselectricität der Fall ist.

Bezeichnet man mit E die Spannung, welche in einem Elemente durch die gegenseitige Einwirkung von Flüssigkeit und Metall hervorgerufen wird, mit L den Widerstand, den der Strom bei dem Durchwandern findet, so ist der Strom $S = \frac{E}{L}$. Da der Strom sowohl durch das Element selbst, als auch durch den Schließungsbogen gehen muß, so theilt sich auch der Widerstand in den des Elementes l und den des Schließungsbogens λ, und es wird daher

$$S = \frac{E}{l + \lambda} \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Verbindet man mehrere (n) Elemente zu einer Kette, so wird dadurch die Spannung auf das nfache erhöht (§. 253); da aber der Strom auch durch die n Elemente hindurchgehen muß, so wächst damit auch der von denselben geleistete Widerstand, während der des Schließungsbogens der gleiche bleibt, und es wird

$$S_a = \frac{nE}{nl + \lambda} = \frac{E}{l + \frac{\lambda}{n}} \quad . \quad . \quad 2)$$

Hieraus ergibt sich, daß die Wirkung einer Kette von mehreren Elementen der eines einzigen Elementes gleichkommt, bei welchem der Leitungswiderstand im Schließungsbogen durch die Anzahl der Elemente dividirt ist. Der Unterschied zwischen S und S_a ist um so bedeutender, je mehr $(l + \lambda)$ von $(l + \frac{\lambda}{n})$ verschieden, d. i. je größer λ ursprünglich ist. Die Anwendung einer Kette von mehreren Elementen ist daher um so vortheilhafter, je größeren Widerstand der Strom im Schließungsbogen findet; ist dieser Widerstand klein, sind z. B. die Pole der Kette durch einen kurzen dicken Draht verbunden, so gewinnt man durch die Vervielfältigung der Elemente nur unbedeutend, während man durch dasselbe Mittel einen viel stärkeren Strom bekommt, wenn der Schließungsbogen, wie dieses bei dem Telegraphendrahte stattfindet, viele Meilen lang ist oder wenn Flüssigkeiten, die man zersetzen will, eingeschaltet sind.

Da der Widerstand abnimmt, wenn die Größe des Querschnittes der Theile, welche der Strom durchwandern muß, wächst, so wird die Größe des Stromes eines einzigen Elementes, welches das vorige an Größe der Platten mmal übertrifft sein

$$S_b = \frac{E}{\frac{l}{m} + \lambda} \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

und der Unterschied zwischen S und S_b beruht daher auf der Differenz der beiden Nenner $(l + \lambda)$ und $(\frac{l}{m} + \lambda)$. Diese Differenz wird groß, wenn der Widerstand im Elemente selbst bedeutend, im Schließungsbogen dagegen klein ist.

Benützt man endlich n Elemente, deren jedes die Größe m hat, so bekommt man

$$S = \frac{nE}{\frac{nl}{m} + \lambda} \quad . \; . \; . \quad 4)$$

Da man die Größe seiner Platten nicht willkürlich ändern kann, so wird unter Anwendung von mehreren kleineren Platten eine größere Oberfläche des Elementes dadurch erzielt, daß man analog dem Verfahren, das man befolgt, wenn mehrere Leydner Flaschen zu einer Batterie zusammengesetzt werden, mehrere kleinere Elemente unter einander so zusammensetzt, daß jedesmal die gleichen Metalle mit einander verbunden sind.

Hat man 4 gleichgroße Elemente von Zink und Kupfer, so lassen sich diese in verschiedener Weise zusammenstellen.

Verbindet man jedesmal das Zink des einen Elementes mit dem Kupfer des andern, so bekommt man eine Kette von 4 Elementen und der Größe 1. Stellt man dagegen die Kette so zusammen, daß man bei je 2 Elementen Zink mit Zink und Kupfer mit Kupfer verbindet, und dann das Zink des einen Doppelelementes mit dem Kupfer des andern zusammenbringt, so hat man eine Kette von 2 Elementen und der Größe 2. Verbindet man endlich alle 4 Zinkplatten und dann wieder alle 4 Kupferplatten, so besteht die Kette aus einem einzigen Elemente von der Größe 4.

Diese 3 Arten von Zusammenstellungen sind in den Figuren 273, 274 und 275 angedeutet. Fig. 273 entspricht 4 einfachen, Fig. 274 2

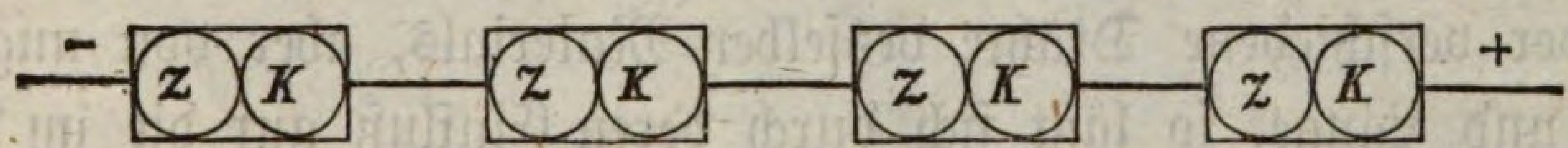


Fig. 273.

Doppelelementen, Fig. 275 einem einzigen vierfachen Elemente. Bezeichnet man die jeweilig einer Combination entsprechende Stromstärke mit S_1, S_2 und S_3, so bekommt man nach der Gleichung 4)

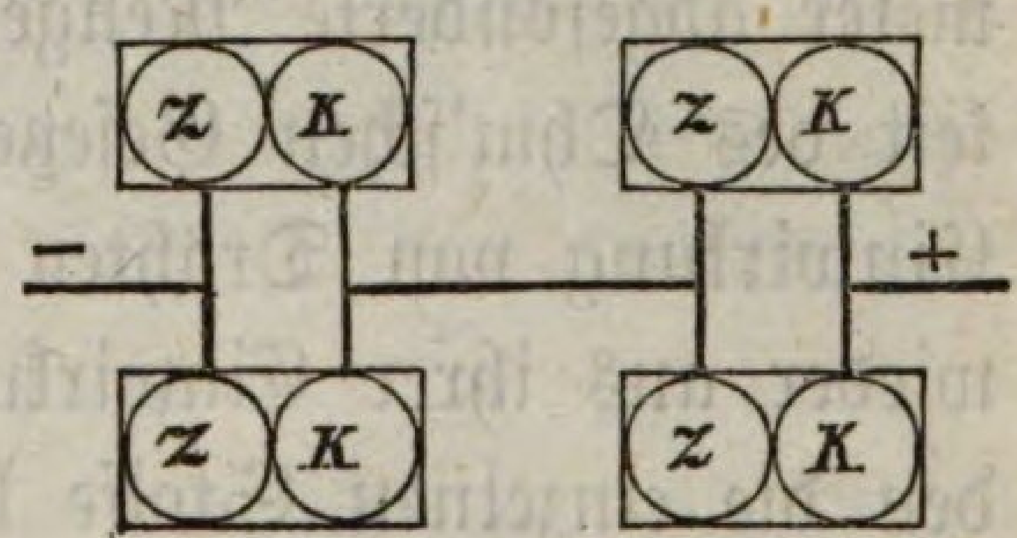


Fig. 274.

$$S_1 = \frac{4E}{4l + \lambda},$$

$$S_2 = \frac{2E}{l + \lambda} = \frac{4E}{2l + 2\lambda},$$

$$S_3 = \frac{E}{\frac{l}{4} + \lambda} = \frac{4E}{l + 4\lambda}.$$

Je nach der Zusammenstellung der Kette bekommt man einen verschiedenen Werth der Stromstärke, und die Wahl der Combination, welche genommen werden muß, um den möglichst starken Strom zu erhalten, hängt von den Größenverhältnissen der Widerstände l und λ ab.

Ist z. B. $4l = \lambda$, also der Widerstand, den der Strom in einem Elemente erfährt klein, der des Schließungsbogens

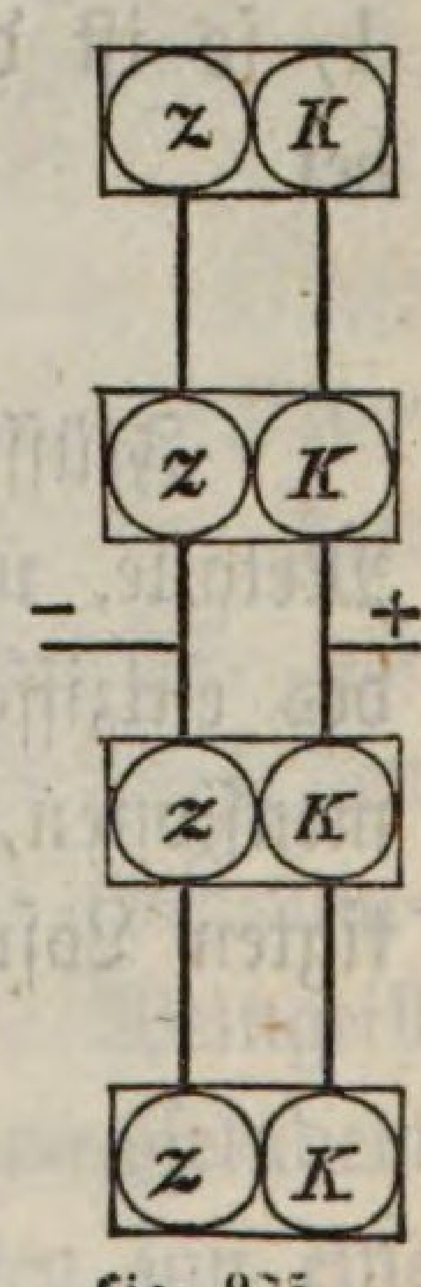


Fig. 275.

größer, wie das bei einem dünnen, langen Draht der Fall ist, so erhält man

$$S_1 = \frac{4E}{8l}, \quad S_2 = \frac{4E}{10l}, \quad S_3 = \frac{4E}{17l}.$$

Die Combination Fig. 273 gibt hier den stärksten Strom.

Hat man $l = \lambda$, so wird

$$S_1 = \frac{4E}{5l}, \quad S_2 = \frac{4E}{4l}, \quad S_3 = \frac{4E}{5l}.$$

In diesem Falle muß die Form der Kette Fig. 274 gewählt werden.

Hat man $l = 4\lambda$, so bekommt man

$$S_1 = \frac{4E}{\frac{17}{4}l} = \frac{16E}{17l}, \quad S_2 = \frac{4E}{\frac{5}{2}l} = \frac{16E}{10l}, \quad S_3 = \frac{4E}{2l} = \frac{16E}{8l},$$

und es empfiehlt sich die Combination Fig. 275.

Die Vergleichung der vorstehenden Werthe der Stromstärke ergibt sehr leicht, daß letztere einen größten Werth erreicht, wenn die beiden Summanden des Nenners in der Gleichung 4) gleichen Werth haben.

§. 263. Wenn man in einer galvanischen Kette ein Glied, sei dieses nun ein Draht oder eine Flüssigkeit, einschaltet, so daß der Strom gezwungen wird, auch durch dieses Zwischenglied zu gehen, so wird dadurch eine Aenderung in der Stärke des Stromes hervorgerufen, denn einigen Widerstand leistet jeder Körper. Nimmt man nach einander verschiedene Drähte desselben Materials, aber von ungleicher Dicke und Länge, so läßt sich durch deren Einfluß auf die im Voltameter abgesonderte Menge von Sauerstoff und Wasserstoff die Richtigkeit des Ohm'schen Gesetzes leicht nachweisen, und vergleicht man die Einwirkung von Drähten aus verschiedenem Material, so ergibt sich wieder aus ihrer Einwirkung auf den Strom der Leitungswiderstand, den die einzelnen Stoffe leisten. Setzt man den Widerstand, den ein Kupferdraht von gegebener Länge und Dicke dem Strome leistet, gleich 1, so ist die Wirkung eines andern Drahtes von gleichen Dimensionen bei

Silber	0.95	Eisen	5.88
Gold	1.35	Platin	6.66
Zink	3.69	Quecksilber	50.00

Flüssigkeiten leisten einen weitaus größeren Widerstand als die Metalle, und unter Beibehaltung der vorigen Einheit des Widerstandes entziffert sich der Einfluß eines Cylinders der Flüssigkeit von Dimensionen, die denen eines Kupferdrahtes gleich sind, bei einer gesättigten Lösung von

Kupfervitriol	18000000
Zinkvitriol	17000000
Kochsalz	3000000
bei käuflicher Salpetersäure	1600000

Der Umstand, daß der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten im Vergleiche zu dem der Metalle eine so bedeutende Höhe erreicht, ist die Ursache, daß man die Platten der Metalle in den Elementen, also diejenigen Metalltheile, die mit den Flüssigkeiten in Berührung kommen, möglichst vergrößern muß, denn je größer die Oberfläche ist, welche sie den Flüssigkeiten darbieten, um so größer ist auch der Querschnitt der letzteren, wenn der Strom durch sie von einem Metalle zum andern wandert. Aus demselben Grunde müssen auch die beiden Metallplatten in den einzelnen Zellen einander so weit genähert werden, daß der Weg des Stromes durch die Flüssigkeit ein möglichst kurzer ist, doch muß dabei natürlich strenge vermieden werden, daß die beiden Platten sich unmittelbar berühren, weil sonst der der betreffenden Zelle entsprechende Stromantheil an der Berührungsstelle zurückkehrt und nicht mehr durch den Schließungsbogen geht. Durch Einschaltung von längerem oder kürzerem Draht kann auch der Strom auf eine beliebige Stärke herabgebracht werden.

Sind die Größenverhältnisse mehrerer verschieden construirter Elemente bekannt, so läßt sich auch durch Hülfe des Voltameters die Spannung bestimmen, die man je nach der Construction des Elementes erhält. Vergleicht man die Wirkung der im Vorstehenden angeführten constanten Ketten mit einander, so ergibt sich, daß unter sonst gleichen Umständen wie Größe u. s. w. die Wirkungen von Zink-Kupfer, Zink-Platin und Zink-Kohle sich verhalten wie 47 : 82 : 84. Die letztere Combination übertrifft also die beiden ersten an electromotorischer Kraft.

§. 264. Geht ein Strom durch einen Metalldraht, so wird dieser erwärmt. Um die Norm aufzufinden, welche diese der Electricität entstammende Wärme befolgt, läßt man ein Stück Draht, der spiralig aufgewunden ist, durch ein Gefäß gehen, in welchem sich außer einem Thermometer noch wasserfreier Weingeist befindet. Wird der Draht erwärmt, so theilt sich die Wärme dem Weingeist mit, und am Thermometer wird die Temperaturerhöhung abgelesen. Würde man statt des Weingeistes eine andere Flüssigkeit, die die Electricität leitet, wie z. B. Wasser nehmen, so würde ein Theil des Stromes statt durch den Draht, durch die Flüssigkeit gehen, und dadurch würde die Genauigkeit des Versuches beeinträchtigt. Aus der Zeit, welche der Weingeist braucht, um sich bei verschiedenen Längen, Dicken und wechselndem Material des Drahtes, sowie bei verschiedenen Stromstärken um eine

gewisse Anzahl von Graden zu erwärmen, läßt sich die Abhängigkeit der Wärmeentwicklung von diesen Factoren leicht bestimmen. Die Wärmeentwicklung ist dem Leitungswiderstande des Drahtes direct, also dem Leitungsvermögen umgekehrt proportional; sie wächst wie das Quadrat der Stromstärke. Ein langer, dünner Draht entwickelt also mehr Wärme als ein kurzer, dicker, Platin mehr als Kupfer.

Wenn man die Quantität des gebrauchten Weingeistes, sowie seine specifische Wärme kennt, so läßt sich auch bestimmen, wie lange ein Strom von der durch das Voltameter nach §. 261 gefundenen Stärke 1 braucht, um eine Wärmeeinheit d. h. so viel Wärme zu entwickeln, als nothwendig ist, ein Kilogramm Wasser um 1° R zu erwärmen. Nimmt man denjenigen Widerstand, den ein Kupferdraht von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser leistet, als die Einheit des Widerstandes, so entwickelt bei diesem ein Strom von der Stärke 1 in 1 Minute 0.0000141 Wärmeeinheiten.

Schaltet man zwischen die beiden Pole einer Kette einen dünnen Eisendraht ein, so wird derselbe glühend, und ist er mit Schießpulver bedeckt, so entzündet sich dieses. Man bedient sich dieses Umstandes zu Sprengungen, denn man kann diese auf große Entfernungen in's Werk setzen, wenn man nur 2 isolirte Drähte in das Pulver leitet und sie durch dünnen Eisendraht verbindet. Die Entzündung erfolgt, wenn man die Drähte mit den Polen einer Kette verbindet, diese also schließt. Auch die Sprengungen unter Wasser werden auf diese Weise ausgeführt.

§. 265. Im Funken beobachtet man auch Lichterscheinungen an der Kette. So oft diese geöffnet oder geschlossen wird, gewahrt man einen kleinen Funken. Gewöhnlich ist mit diesem Funken eine Verbrennung des den Pol bildenden Materials verbunden. Wickelt man den Draht des einen Poles um eine Feile, und fährt man mit dem des andern über diese hin, so entsteht bei dem hiebei rasch auf einander folgenden Oeffnen und Wiederschließen der Kette ein lebhaftes Funkensprühen, welches von einem Verbrennen der Eisentheilchen herrührt, die glühend auseinander fahren.

Werden 2 zugespitzte Stücke der Kohle, welche als Material zu den Bunsen'schen Elementen dient, oder was noch besser ist der Kohle, welche bei der Gasbereitung in der Retorte zurückbleibt, als Pole verwendet, so gerathen diese bei Anwendung einer Kette von 30 — 50 Bunsen'schen Elementen in's lebhafteste Weißglühen, und sie verbreiten ein Licht, welches an Intensität jedes andere künstliche weit hinter sich zurückläßt. Entfernt man nach der Schließung der Kette die Pole

etwas von einander, so gewahrt man zwischen ihnen einen nach oben gewölbten Flammenbogen, der jedoch weitaus nicht so viel Licht verbreitet als die beiden Kohlenspitzen, auf denen er aufsitzt. Mit diesem Glühen ist ein Verbrennen der Substanz der Pole verbunden, das um so rascher geht, je weniger hart die Kohle ist, weßhalb hiezu die oben erwähnten härtesten Sorten derselben verwendet werden müssen. Außerdem findet noch ein Uebertreten von Kohlentheilchen von dem einen Pole zum andern und zwar vorzugsweise vom positiven zum negativen statt, so daß sich der erstere ziemlich rasch abnützt. Bei zu großer Entfernung der Polspitzen hört die Erscheinung auf, und es gibt eigene Apparate, welche die Regulirung in der Weise besorgen, daß die Kohlen in dem Maaße vorgeschoben werden, in welchem sie sich abnützen. Wird die Kohle vorher mit Borax und Schwefelsäure getränkt, so erhöht sich die Intensität des Lichtes. Auch wenn die Pole durch Metalle gebildet sind, erhält man den Lichtbogen, welcher bei derselben Kette um so größer wird, je leichter die Metalle schmelzen oder sich oxydiren.

Das electrische Licht ist in neuerer Zeit vielfach zur Beleuchtung angewendet worden. Es eignet sich vorzugsweise für Leuchtthürme, wo es sich darum handelt, ein recht intensives Licht hervorzubringen, oder zu Beleuchtungen unter dem Wasser. Hier hat es den Vorzug, daß bei ihm abweichend von den andern Lichtquellen keine Sauerstoffzuführung und keine Ableitung von Verbrennungsproducten nothwendig ist. Bei der gewöhnlichen Straßenbeleuchtung ist es angenehmer, eine größere Anzahl zerstreuter und weniger intensiver Lichtquellen zu haben, denn bei dem electrischen Lichte ergeben sich zu starke Contraste zwischen hellen und dunkeln Stellen.

Das Kohlenlicht enthält sehr viele blaue, violette und ultraviolette Strahlen, weßhalb seine photographischen Wirkungen sehr bedeutend sind.

§. 266. Schon seit langer Zeit ist die Thatsache bekannt, daß stärkere electrische Entladungen einen Einfluß auf in der Nähe befindliche Magnetnadeln ausüben, so z. B. hat man beobachtet, daß auf Schiffen, die vom Blitze getroffen worden waren, die Compaßnadeln ihren Magnetismus verloren, oder daß ihre Pole ganz ausgetauscht wurden, doch blieben Versuche, die man mit der Leydner Flasche anstellte, lange Zeit ohne entscheidendes Resultat. Ehe dieses gelang, machte Oersted 1820 die Beobachtung einer ganz bestimmten Einwirkung des electrischen Stromes auf die Magnetnadel.

Hat man einen Kupferdraht oder Kupferstreifen so gebogen, daß er die in Fig. 276 dargestellte Form abcde bekommt, und stellt man ihn dann senkrecht so auf, daß seine Ebene mit der des magnetischen

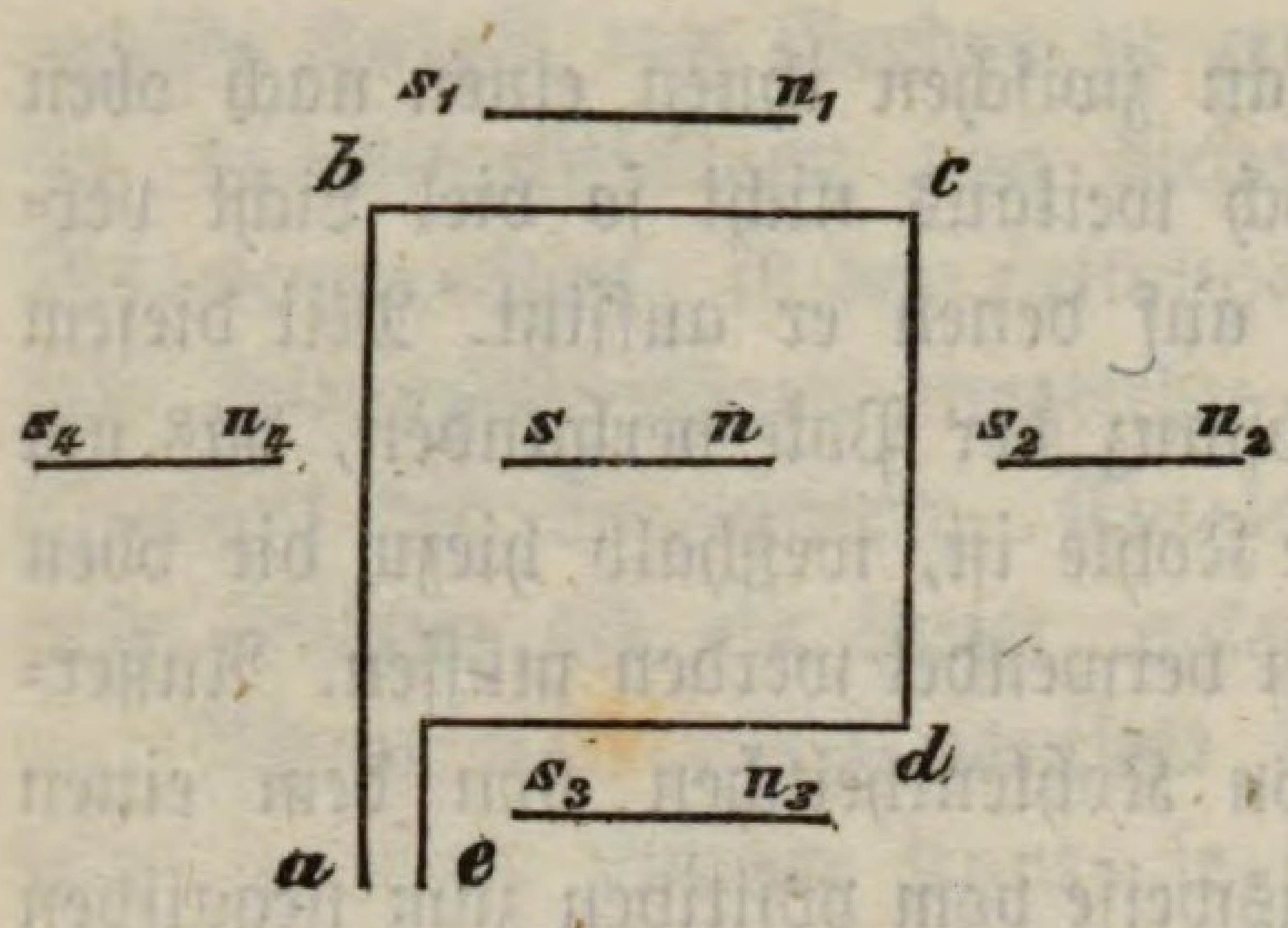


Fig. 276.

Meridians zusammenfällt, so wird eine Magnetnadel sn oder s_1n_1 u. s. w. sich so stellen, daß ihre Richtung der des Drahtstückes bc vollkommen parallel bleibt, wie dieses dem Begriffe „magnetischer Meridian" (§. 232) entspricht. Geht durch den Draht ein electrischer Strom, so übt dieser eine Einwirkung auf die Richtung der Nadel aus, denn letztere verläßt alsbald ihre bisherige Stellung, um eine neue von der Richtung des magnetischen Meridians verschiedene anzunehmen, und so lange der Strom ungeändert bleibt, auch beizubehalten. Je nach der Stärke des Stromes wird auch die Ablenkung der Nadel größer oder kleiner; je nach der Stellung der Nadel gegen den Draht und der Richtung, in welcher der Strom den letzteren durchzieht, ändert sich der Sinn der Drehung, welche die Nadel erfährt. Dieser Sinn der Drehung läßt sich am einfachsten nach der von Ampère angegebenen Regel ausdrücken, welche lautet: Man denke sich eine menschliche Figur so in dem Strome schwimmend, daß der (positive) Strom bei den Füßen ein- bei dem Kopfe austritt, und wenn man weiter annimmt, daß die Figur mit dem Gesichte der Nadel zugekehrt ist, so wird das Nordende der letzteren nach der linken Seite der Figur abgelenkt. Gesetzt, der (+)Strom trete bei a ein, bei e aus, und die Nadel sei in sn, ab sei der südliche, cd der nördliche Theil des Drahtes, so haben wir uns die Figur so zu denken, daß ihr Kopf in dem Drahtstücke bc gegen c, ihre Füße gegen b hin liegen, und da die Figur als die Nadel anschauend gedacht werden muß, so ist ihr Gesicht nach unten gekehrt. Bei dieser Stellung ist die linke Seite der Figur auf der westlichen Seite des Drahtes, und die Nadel wird so abgelenkt, daß ihr Nordende eine westliche Richtung erhält, während das Südende den entgegengesetzten Weg macht. Es entsteht daher eine westliche Declination der Nadel. Ist umgekehrt die Nadel in s_1n_1, so muß die menschliche Figur bei unveränderter Lage von Kopf und Füßen sich jetzt so drehen, daß das Gesicht nach oben gekehrt ist. Aus diesem Grunde sind linke und rechte Seite gegen den vorigen Fall ausgetauscht, und darum wird auch die Nadel in der entgegengesetzten Richtung abgelenkt. Diesesmal entsteht eine östliche Declination. Bei der Stellung s_2n_2 der Magnetnadel muß

zunächst die Wirkung des Drahtstückes cd berücksichtigt werden. Hier geht der positive Strom von c nach d, und demzufolge hat die in den Draht gedachte Figur den Kopf nach unten; sieht sie die Nadel an, so hat sie ihre linke Seite östlich und die Nadel bekommt daher eine östliche Declination, eine westliche dagegen, wenn sie sich in sn befindet. In gleicher Weise bewirken, wie man leicht sieht, die Drahtstücke ab und de eine westliche Declination der Nadel sn, eine östliche Declination der Nadeln s_3n_3 und s_4n_4. Die sämmtlichen Stücke des Drahtes wirken daher auf die innere Nadel in der gleichen Weise, sie verstärken sich also, und ebenso werden sämmtliche außerhalb angebrachte Nadeln wieder in der gleichen Richtung abgelenkt, die der der innern Nadel entgegengesetzt ist.

Die Ablenkung der Nadel ist die Folge einer Einwirkung des Stromes auf dieselbe, und da stets die Größe der Wirkung als Maaß für die Größe der Ursache benützt werden kann, so dient auch die Ablenkung der Nadel zur Bestimmung der Stärke des Stromes. Läuft der Strom in einem kreisförmig gebogenen leitenden Streifen um eine im Verhältniß zu dem Radius des Kreises kleine Nadel herum, so ist die Stärke des Stromes der Tangente des Ablenkungswinkels der Nadel proportional. Hierauf beruht die Tangentenboussole.

Ist SN (Fig. 277) der Durchschnitt der Ebene des magnetischen Meridians mit der Ebene des Papieres, so wird eine Magnetnadel, deren Mittelpunct in a sein möge, sich vermöge des Erd-Magnetismus in der Richtung SN mit einer gewissen von der Stärke des Magnetismus der Erde und der

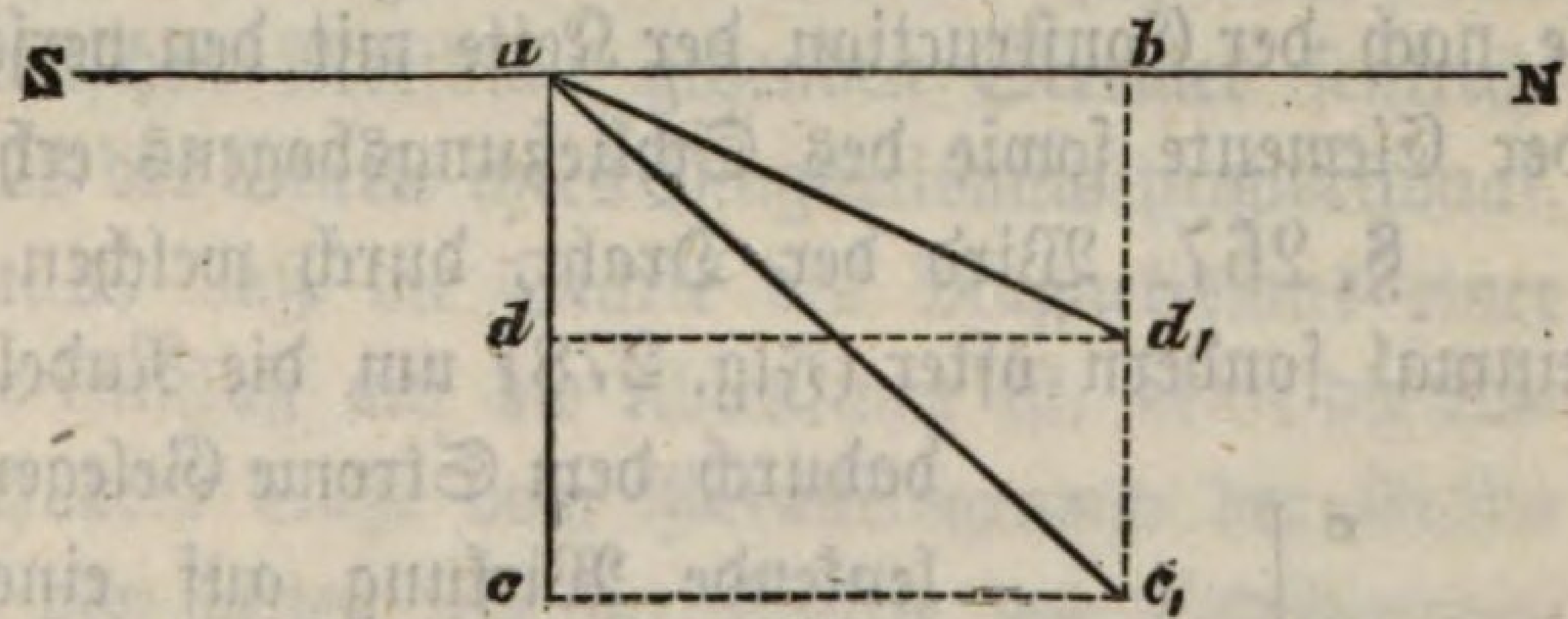


Fig. 277.

Nadel abhängigen Kraft einstellen, die durch die Größe der Geraden ab vorgestellt werden möge. Fällt die Ebene des Kreises, in dem der Strom die Nadel umwandert, mit dem magnetischen Meridian zusammen, so ist SN auch ein Durchschnitt der Ebene des Kreises mit der des Papieres. In Folge der alleinigen Wirkung des Stromes würde die in a befindliche Nadel sich senkrecht auf die Ebene des Kreises stellen, also die Richtung ac einnehmen, während sie bei Abwesenheit des Stromes in Folge des Erdmagnetismus die Richtung ab hätte. Bei dem Zusammenwirken beider Kräfte kommt eine Zwischenrichtung

zum Vorschein, und diese regelt sich nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte. Verhält sich die Wirkung eines Stromes zu der des Erdmagnetismus wie ad zu ab, so ist ad_1 die Stellung der Nadel; ist dieses Verhältniß aber bei einem andern Strome ac zu ab, so steht die Nadel in der Richtung ac_1. Die beiden Ströme verhalten sich also zu einander wie ad zu ac oder wie bd_1 zu bc_1, da aber bd_1 und bc_1 die Tangenten der jeweiligen Ablenkungswinkel bad_1 und bac_1 sind, verhalten sich die Stromstärken auch wie diese.

Die Tangentenboussole ist ein vorzügliches Instrument zur Bestimmung der Stromstärke, wenn es sich darum handelt, anzugeben, wie stark ein Strom in einem bestimmten Augenblicke sei, denn man braucht nur die Tangente des Ablenkungswinkels zu suchen. Das Voltameter eignet sich hiezu weniger, denn da von den sich entwickelnden Gasblasen immer ein Theil unterwegs ist, kann man nicht sagen, wie viele Gastheilchen sich im Augenblicke entwickeln. Das Voltameter ist dagegen namentlich bei Strömen von schwankender Stärke besser geeignet, die Gesammtheit der Stromwirkungen, die während einer längeren Zeit stattfanden, anzuzeigen. Während die Tangentenboussole in der neuen Richtung der Nadel die vorausgegangene andere nicht erkennen läßt, findet man am Voltameter die Summe aller Wirkungen. Vorzüglich geeignet ist die Tangentenboussole zur Feststellung der Sätze des Ohm'schen Gesetzes, wenn man die Stromstärke untersucht, die man je nach der Construction der Kette mit den verschiedenen Abänderungen der Elemente sowie des Schließungsbogens erhält.

§. 267. Wird der Draht, durch welchen der Strom geht, nicht einmal sondern öfter (Fig. 278) um die Nadel herumgeführt, so wird dadurch dem Strome Gelegenheit geboten, seine ablenkende Wirkung auf einer längeren Strecke zu äußern, und es entsteht so der Multiplicator. Dieses Instrument dient vorzugsweise dazu, schwache Ströme wahrzunehmen und ihre Richtung zu bestimmen. Weniger ist der Apparat geeignet, die Stärke eines Stromes zu messen, da im Allgemeinen das Verhältniß der Entfernung, in welcher der Strom die Nadel umkreist, zu der Größe der letzteren nicht so bedeutend ist als bei der Tangentenboussole, weil sonst entweder die Nadel zu klein wird, um eine genaue Beobachtung zuzulassen, oder

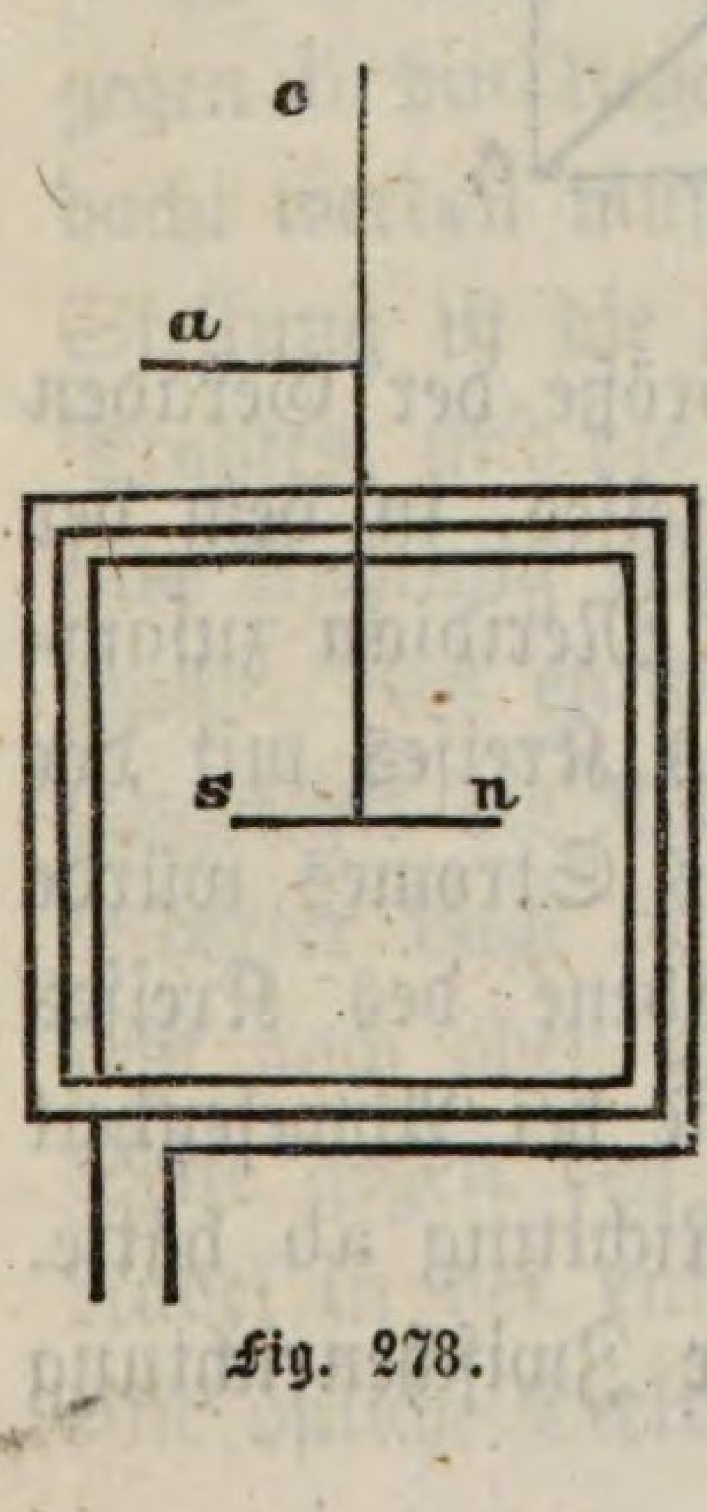


Fig. 278.

weil man zu verhältnißmäßig wenig Windungen einen sehr langen Draht nothwendig hat. Ist aber der zu einer Windung nöthige Draht sehr lang, so setzt derselbe dem Strome namentlich dann, wenn dessen Spannung nicht groß ist, so viel Widerstand entgegen, daß was durch die Vervielfältigung der Windungen gewonnen wird, durch die Zunahme des Leitungswiderstandes verloren geht. Wenn die Dimensionen der Nadel gegen die Entfernung des diese umkreisenden Stromes nicht sehr klein sind, so wird die Ablenkung der Nadel zwar mit dem wachsenden Strome größer, aber diese Zunahme ist nicht mehr genau der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Hiezu kommt noch der Umstand, daß die Windungen des Drahtes nicht alle über einander, sondern auch neben einander sind, und die Wirkung einer seitlich gelegenen Windung jedenfalls anders ist, als die einer mittleren.

Zum Zwecke der leichteren Beweglichkeit der Nadel wird dieselbe an einem Coconfaden c aufgehängt, und weil die Nadel als innerhalb der Windungen befindlich nicht gut beobachtet werden kann, befindet sich oberhalb derselben ein ihr paralleler ebenfalls an dem Coconfaden hängender leichter Körper a, ein Strohhalm u. dgl.

Die Kraft, vermöge deren die Magnetnadel in dem magnetischen Meridian festgehalten wird, oder vermöge deren sie in denselben zu gelangen sucht, ist um so größer, je stärker magnetisch die Nadel ist. Andererseits ist die Kraft, vermöge deren die Nadel sich unter dem Einflusse des im magnetischen Meridian gehenden Stromes senkrecht auf diesen stellt, ebenfalls der Stärke ihres Magnetismus proportional, und es ergibt sich daraus, daß die Stärke des Magnetismus einer Galvanometernadel ohne Einfluß auf die Ablenkung ist, denn die Ablenkung ergibt sich nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte aus 2 Componirenden, von denen jede der Stärke des Nadelmagnetismus proportional ist. Wenn man zwei Nadeln (Fig. 279) in der Weise fest mit einander verbindet, daß der Nordpol der einen senkrecht über dem Südpole der andern steht, so wird, wenn man das System an einem Coconfaden aufhängt, die eine Nadel sich in der einen, die andere in der andern Richtung zu drehen suchen. Sind beide Nadeln genau gleich stark, so hebt sich ihre Wirkung gegenseitig auf, und sie bleiben in jeder Stellung in Ruhe; ist aber die eine etwas stärker als die andere, so wird sie bei der ganzen Stellung den Ausschlag



Fig. 279.

geben, das ganze System stellt sich so, wie es der magnetischen Vertheilung dieser stärkeren Nadel angemessen ist. Während nun in Beziehung auf die Stellung gegen den magnetischen Meridian ein Unterschied zwischen der Combination der 2 Nadeln und der einzelnen nicht eintritt, so ist dieser doch vorhanden in Beziehung auf die Größe der Kraft, mit welcher beide in dieser Stellung in dem magnetischen Meridian festgehalten werden. Die Doppelnadel wirkt nur mit der Größe des Ueberschusses der einen Nadel über die andere, und dieser kann sehr klein sein, selbst wenn die den Ton angebende Nadel möglichst stark magnetisirt ist.

Verwendet man eine solche Combination zweier Nadeln in der Weise an dem Multiplicator, daß man die obere Nadel der Fig. 279 an die Stelle des Strohhalms a der Fig. 278 treten läßt, so kann die Art der Wirkung des Stromes auf jede Nadel je nach ihrer Stellung und Richtung nach dem Ampère'schen Gesetze bestimmt werden. Diesem zufolge (§. 266) wirkt der Strom auf 2 gleich gerichtete Nadeln, von denen die eine oberhalb, die andere unterhalb des durchströmten Drahtes ist, in entgegengesetzter Weise, denn die eine wird links, die andere rechts gedreht; sind aber die Pole der Nadeln einander schon entgegengesetzt, so erfolgt durch die entgegengesetzte Wirkung des Stromes eine Ablenkung beider Nadeln im gleichen Sinne, und die Wirkung des Stromes auf beide Nadeln ist also der Summe der 2 Einzelwirkungen gleich.

Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus auf die beiden Nadeln ausübt, ist dem Vorstehenden zufolge kleiner, die des Stromes größer als bei der einfachen Nadel, und in Folge dessen ist auch die Abweichung der Doppelnadel bei gleicher Stromstärke weitaus bedeutender als bei der einfachen, denn da die Energie, mit der die Doppelnadel in den magnetischen Meridian zurückzukehren sucht, also die Componirende ab in Fig. 277, viel kleiner als die der einfachen ist, da außerdem erstere von dem Strome mehr beeinflußt wird, muß auch in ihrer Stellung letztere Wirkung mehr sichtbar werden.

§. 268. Wenn man einen übersponnenen Draht spiralförmig um einen Eisencylinder windet, oder was bequemer ist, den Eisencylinder in eine Holzspule steckt, die mit übersponnenem Draht umwunden ist, so muß ein Strom, der durch den Draht geht, den Windungen desselben folgend den Eisenstab zu wiederholten Malen umkreisen, und die Folge davon ist, daß das Eisen magnetisch wird. Ist das angewandte

Eisen vollkommen weich, so entsteht der Magnetismus in ihm alsbald in voller Stärke, es hört aber auf magnetisch zu sein, sobald der Strom aufhört, und ist dann dasselbe Eisen wie vorher. Benützt man hartes Eisen oder Stahl, so leisten diese ihrer Coërcitivkraft (§. 224) wegen zuerst einigen Widerstand, sind sie aber einmal durch den Strom magnetisch gemacht, so bleiben sie es auch nach dem Aufhören des Stromes ebensogut, als dieses bei dem Bestreichen mit einem Magnete der Fall ist.

Befindet sich ein beweglicher Eisenstab vor einer Drahtspirale, so wird er magnetisch, sowie der Strom durch die Spirale geht, und gleichzeitig wird er auch in die Spirale hineingezogen.

Wie jeder andere Magnet hat auch der durch den electrischen Strom entstandene sogenannte Electromagnet wenigstens 2 Pole, und die Stellung dieser beiden Pole hängt von der Art und Weise ab, wie der Draht der Spirale gewunden ist. Man unterscheidet rechtsgewundene und linksgewundene Spiralen. Ist das eine Ende der Spirale dem Auge zugewendet und verfolgt man die Drahtwindungen mit dem Auge, so können die nach den einzelnen Puncten gezogenen Gesichtslinien in derselben Weise nebeneinander liegen, wie dieses der Fall ist, wenn man den Zeiger einer Uhr in seinem Laufe verfolgt. Ein solcher Draht heißt rechtsgewunden, und ein Beispiel dieser Drehung gibt der Propfzieher. Im entgegengesetzten Falle heißt der Draht linksgewunden. Geht der Strom durch eine rechtsgewundene Spirale, so bewegt er sich, wenn er bei dem dem Beobachter zugewendeten Ende eintritt, im Sinne der Uhrzeiger, und in diesem Falle entsteht ein Südpol (Südende) da, wo der Strom eintritt, während bei linksgewundenen Spiralen an dem Eintrittsende des Stromes ein Nordpol (Nordende) zum Vorschein kommt. Ist die Spirale nicht gleichmäßig gewunden, geht sie streckenweise links und rechts, so zeigt der Electromagnet an jeder Umkehrungsstelle einen Folgepunct.

Gibt man dem in der Spirale steckenden Eisen eine Uform, wie sie der Hufeisenmagnet hat, so kann man seine beiden Pole durch ein gerades Eisenstück als Anker verbinden. In diesem Falle wirkt der Magnetismus des Electromagnetes vertheilend auf die magnetischen Fluida im Anker, und je nach der Größe des Apparates vermag man Electromagnete herzustellen, an deren Anker mehrere 1000 Pfunde gehängt werden können, die aber nur so lange dauern, als der Strom durch die Drahtwindungen geht, denn sowie er unterbrochen wird,

sinkt die magnetische Kraft sehr bedeutend und verschwindet ganz, wenn der Anker abgenommen wird.

Bei aller Analogie zwischen den Electromagneten und den gewöhnlichen Stahlmagneten besteht doch ein bedeutender Unterschied zwischen beiden. So kommt z. B. ersterer eigentlich nur dann recht zur Wirksamkeit, wenn seine beiden Pole durch den Anker verbunden sind: hier wirkt der Electromagnet auf den Anker, und dieser wirkt zurück. Trägt ein so geschlossener Electromagnet 140 Pfunde, so trägt nach Magnus ein einzelner Pol deren nur 1—2, während bei Stahlmagneten ein solches Mißverhältniß weitaus nicht in so hohem Grade besteht, denn wenn ein solcher im geschlossenen Zustande nur 10 Pfunde trägt, so kann man auf einen einzelnen Pol noch immer 2 rechnen. Auch ein gerader Electromagnet trägt nicht viel; dagegen kann man die Tragkraft zweier Hufeisenmagnete sehr erhöhen, wenn man ihre freundlichen Pole zusammenbringt, so daß also der eine Electromagnet der Anker des andern ist.

Da die Electromagnete weitaus stärker hergestellt werden können, als die Stahlmagnete, eignen sie sich für manche Beobachtungen, zu denen letztere nicht mehr ausreichen. So sind es namentlich die Erscheinungen des Diamagnetismus (§. 237), welche man mit Hülfe der Electromagnete kennen lernte.

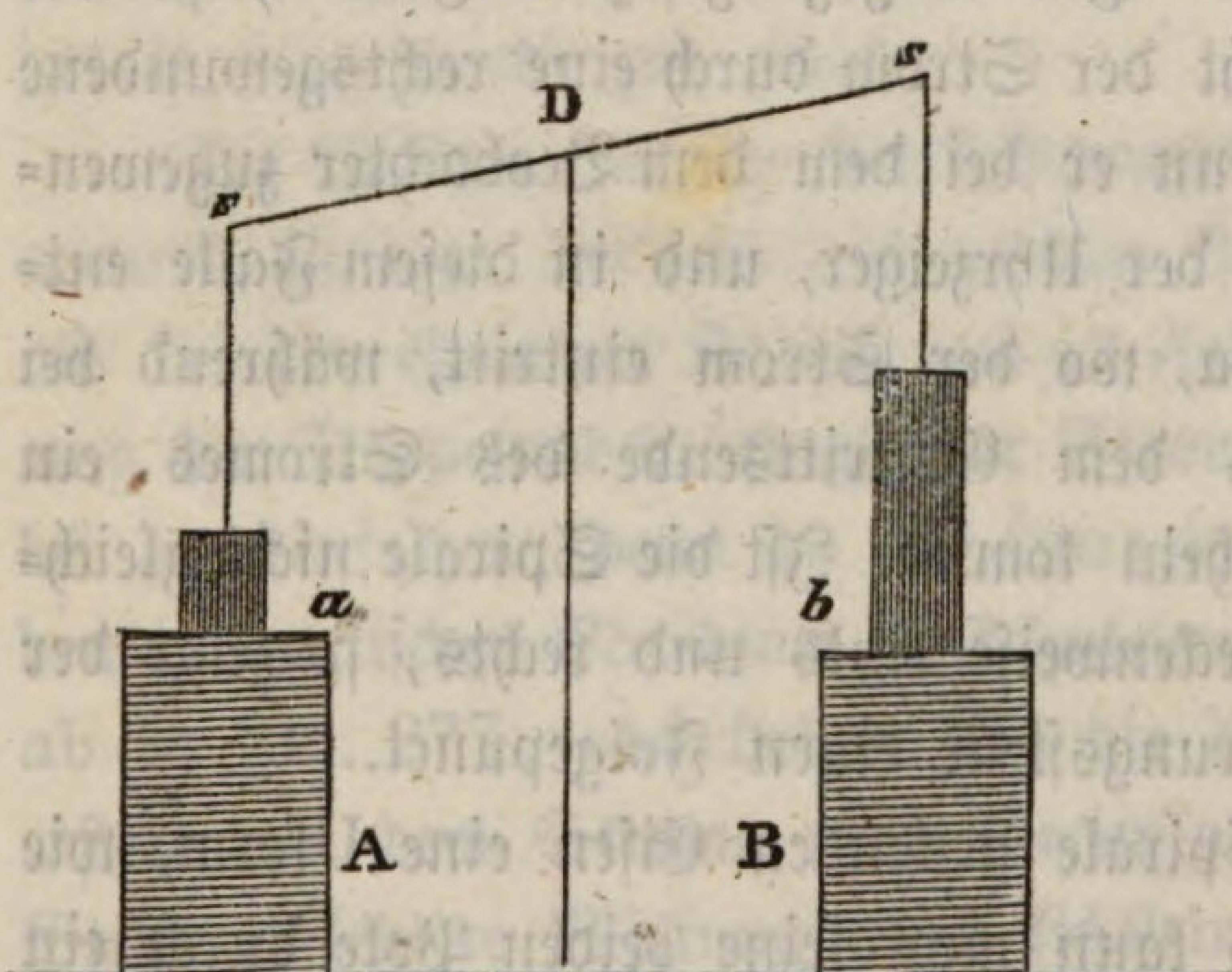


Fig. 280.

Hat man 2 Spiralen A und B (Fig. 280), durch welche abwechselnd der Strom geleitet werden kann, so wird jedesmal die als Leitung dienende Spirale einen Eisenkern a, b magnetisch machen und in sich hineinziehen. Stellt die Figur den Zeitpunct dar, in welchem der Strom durch A geht, so muß der Eisenkern a abwärts gehen, ist aber a mit der um D drehbaren Stange ss verbunden, so wird durch das Herabgehen von a ein Heben von b bedingt. Wird, sobald a unten angelangt ist, der Strom unterbrochen und dann durch B geleitet, so senkt sich b und hebt sich a. In Folge dessen macht die Stange ss dieselbe Bewegung, welche (Fig. 239) der Balancier durch die Wirkung des Dampfes bekommt, und man kann daher die electromagnetische Wirkung eben so zu Leistung von Arbeit benützen, wie es bei dem Dampfe geschieht.

Es gibt electromagnetische Maschinen der verschiedensten Art, und man hat vorgeschlagen, sie statt der Dampfmaschinen zu benützen, vor denen sie wenigstens den einen Vorzug haben, daß kein Kessel springen kann; es steht aber ihrer Einführung der Umstand entgegen, daß durch den Verbrauch an Zink und Säuren ihre Leistungen viel theurer zu stehen kommen, als die der Dampfmaschinen durch den Verbrauch an Kohle.

§. 269. Will man einen electrischen Strom bekommen, so ist es nothwendig, daß die beiden Pole der Kette mit einander in leitender Verbindung stehen. Diese Verbindung ist, wenn nicht ganz, doch auf der größten Strecke des Weges ein Draht, der sogenannte Schließungsbogen. Schaltet man zwischen die einzelnen Theile des Schließungsbogens einen oder mehrere Electrolyten, Tangentenboussolen oder Spiralen von Electromagneten ein, so wird dadurch der Strom nicht unterbrochen; aber er wird am Electrolyten eine chemische Zersetzung, an den beiden letzteren magnetische Erscheinungen zu Stande bringen, und dieses wird so lange dauern, als die leitende Verbindung der beiden Ketten besteht, wird mit dieser aufhören. Wie lange die Drahtstücke sind, welche die erwähnten Zwischenglieder mit den Polen der Kette verbinden, ist nur insofern von Bedeutung, als bei Anwendung von langen Drähten der Leitungswiderstand im Schließungsbogen erhöht und daher eine stärkere Kette nothwendig wird. Aus diesem Grunde kann man die Zwischenglieder an einem weit von der Kette entfernten Orte anbringen, und da man durch einfaches Schließen und Oeffnen der Kette in dem Zwischengliede eine chemische Zersetzung oder eine magnetische Erscheinung ganz nach Belieben hervorbringen und unterbrechen kann, muß es auch möglich sein, an diesem Ort Zeichen zu geben und nach vorausgegangener Uebereinkunft über die Bedeutung dieser Zeichen beliebige Mittheilungen zu machen. Hierauf beruht die electrische Telegraphie, und man braucht hiezu eine Kette, einen Draht, der von dem einen Kettenpol zu dem Zeichen gebenden Apparate geht, diesen letzteren Apparat und wieder einen von ihm zum zweiten Kettenpole zurückführenden Draht, also im Ganzen 2 Drähte. Von diesen beiden Drähten kann jedoch noch einer erspart werden. Hat man zwei Körper, deren electrischer Zustand verschieden ist, und bringt man sie mit einander in leitende Verbindung, so folgt, daß ein Electricitätsaustausch in der Weise stattfindet, daß die eine Electricität in der einen, die andere in der andern Richtung geht, so daß nach dem Austausche die Electricitätsvertheilung in beiden Körpern gleich ist. Wie

diese Vertheilung ausfällt, kommt einzig auf die Größenverhältnisse beider Körper an, denn je größer der eine ist, um so näher wird die endliche Electricitätsvertheilung derjenigen stehen, die er ursprünglich hatte. Ist dieser eine Körper die Erde, so kann man die Größe des andern als gegen sie verschwindend klein betrachten, und derselbe mag was immer für eine Electricität haben, nach der Berührung wird auf ihm die der Erde zukommende Vertheilung vorhanden sein. Ist er positiv, so geht von ihm + Electricität in die Erde, — Electricität von der Erde in ihn, und im umgekehrten Falle findet das Gegentheil statt. Gesetzt, der mit der Erde in Verbindung gebrachte Körper werde immer von Neuem electrisch, so wird sich der Uebergang der Electricität von ihm zur Erde fort und fort wiederholen, es entsteht ein electrischer Strom, und wir haben den nämlichen Vorgang, der auch in dem Leitungsdrahte zu beobachten ist. In diesem geht die + Electricität in der einen, die — Electricität in der andern Richtung, und der Strom hört bei dem Oeffnen der Kette darum auf, weil kein Körper vorhanden ist, in den die eine Electricität geleitet, aus dem die andere geschöpft werden sollte. Bringt man das eine Ende des auseinander geschnittenen Leitungsdrahtes in die Erde, so kommt aus dieser und geht in diese als Reservoir die betreffende Electricität, und wenn an dem andern Ende dasselbe geschieht, so vertritt die Erde das zwischen den Enden fehlende Drahtstück so gut, als wäre sie selbst Leitungsdraht, weßhalb man sehr oft sagt, der Strom gehe in der Erde von dem einen Drahtende zum andern, wenn auch die Erde strenge genommen jedesmal nur als Reservoir dient. Zum Telegraphiren braucht man also nur den einen Pol der Kette, während der andere mit der Erde in leitender Verbindung steht. Der gebrauchte Pol steht mit einem isolirten Drahte in Verbindung, der zur Correspondenzstation führt, wo der Zeichenapparat eingeschaltet ist, worauf das Ende des Drahtes an der Correspondenzstation wieder mit der Erde in leitende Verbindung gebracht wird.

Der erste durch die Wirkung der galvanischen Kette thätige Telegraph beruhte auf der Zersetzung von Wasser und wurde von Sömmering auf der Strecke München-Nymphenburg ausgeführt. Es führten 25 Drähte, von denen jeder einem einzelnen Buchstaben entsprach, von der einen Station zur andern. War an der einen die Kette, so konnten von den die Buchstaben vertretenden Drähten 2 beliebige mit den Polen der Kette verbunden werden, und tauchten die sämmtlichen Drähte an der andern Station in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure, so entwickelte sich an den 2

auserwählten Drähten nach den im §. 256 angegebenen Normen Sauerstoff und Wasserstoff, und damit waren die betreffenden 2 Buchstaben angezeigt. Da das Volumen des ausgeschiedenen Wasserstoffs doppelt so groß ist als das des Sauerstoffs, konnte man nach der Quantität des an den beiden Drähten sich absondernden Gases auf die Reihenfolge der beiden Buchstaben schließen.

Da dieser älteste Telegraph eine große Menge von Drähten nöthig hat, so kommt er auf größern Strecken zu theuer, und außerdem ist die Aufeinanderfolge der Zeichen nur eine langsame, da immer einige Zeit vergeht, bis die Frage, an welchem Drahte die größere Menge von Gas ausgeschieden werde, entschieden ist.

Gauß und Weber in Göttingen benützten die Ablenkung der von einem Strome umkreisten Magnetnadel, sie schalteten also an der Correspondenzstation statt des Sömmering'schen Electrolyten eine Tangentenboussole in den Leitungsdraht ein. Je nach der Richtung, in der der Strom um die Nadel herumgeht, wird diese der Ampère'schen Regel zufolge nach rechts oder links abgelenkt. Da man so mit Hülfe eines einzigen Drahtes 2 verschiedene Zeichen geben kann, läßt sich auch die Zahl der Leitungsdrähte gegen den Sömmering'schen Telegraphen um die Hälfte vermindern; doch reicht auch eine einzige Leitung, wenn man durch geeignete Wiederholung und Abwechslung der beiden Zeichen so viele Combinationen derselben zusammenstellt, als es Buchstaben gibt. Ein solcher Telegraph war zwischen dem physicalischen Cabinete und der Sternwarte zu Göttingen im Gange.

Die gegenwärtig allgemein üblichen Telegraphen benützen den Electromagnetismus und sind entweder Zeiger- oder Schreibtelegraphen.

Bei dem Zeigertelegraphen hat man einen Zeiger, der wie ein Uhrzeiger auf einer Art von Zifferblatt herumgeht, welches statt der Ziffern die Buchstaben enthält. Der Zeiger ist an einem unter dem (in der Fig. 281 durchbrochenen) Zifferblatte befindlichen Zahnrade befestigt, dessen Zähne

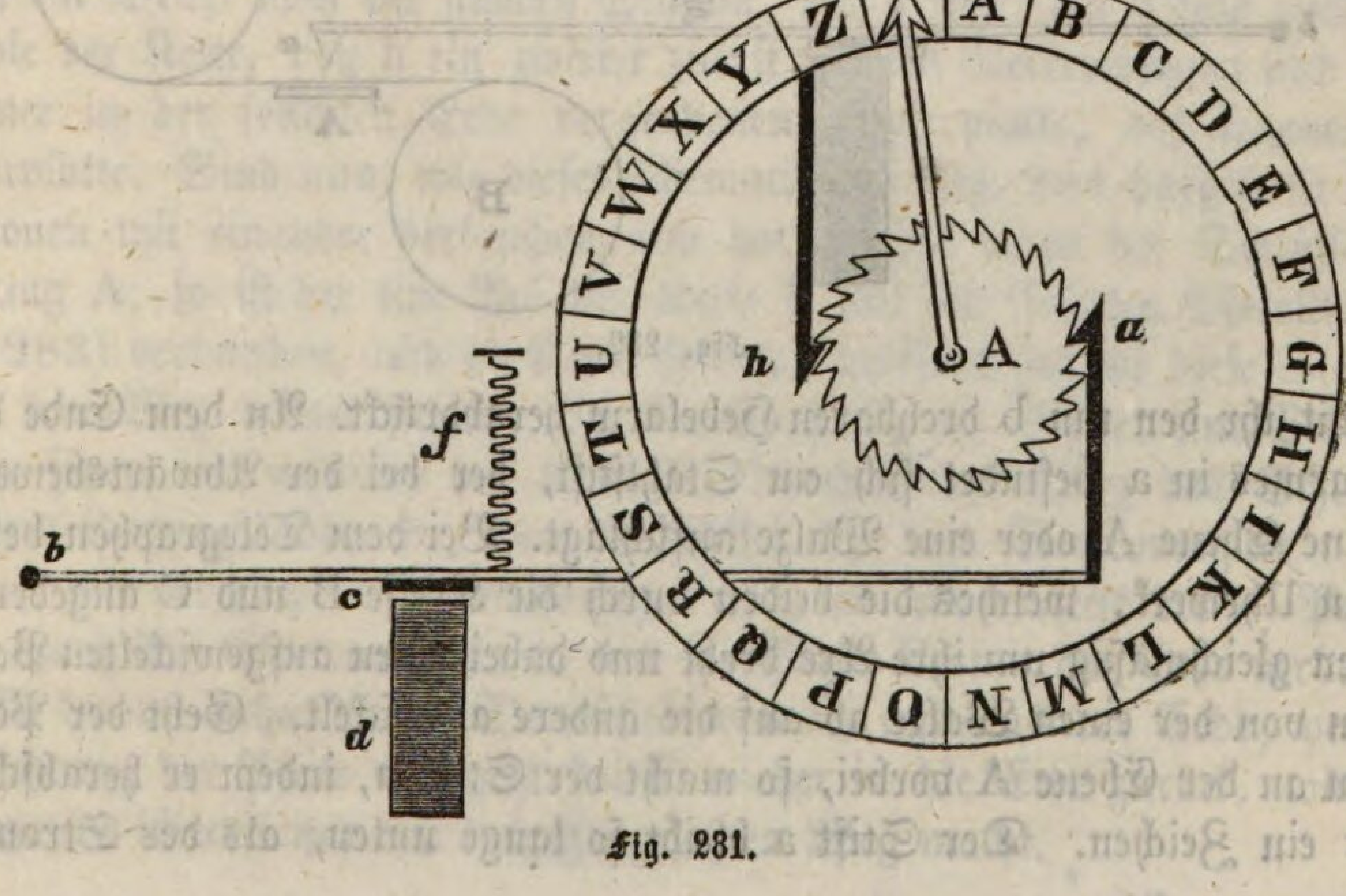


Fig. 281.

den Buchstaben des Zifferblattes entsprechen, so daß der Zeiger von einem Buchstaben zum andern geht, wenn das Rad um einen Zahn gedreht wird. In die Zähne des Rades greift ein Hacken a ein, der sich an einem um b drehbaren Hebelarme befindet. In c ist eine Eisenplatte, in d ein Electromagnet, der in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet ist. Stellt die Figur denjenigen Zeitpunct dar, in welchem der Strom unterbrochen und in Folge dessen der Eisenkern der Spirale unmagnetisch ist, so entsteht bei dem Schließen der Kette in d ein Magnet, die Platte c wird angezogen, mit ihr geht der Hebelarm und der Hacken a abwärts, und weil sich das Rad A dreht, wird der Zeiger um einen Buchstaben vorwärts geschoben. Wird der Strom nun unterbrochen, so hört in d der Magnetismus auf, und die Feder f bringt den Hebelarm sowie den Hacken a in die ursprüngliche Stellung zurück. Das Zahnrad kann hiebei nicht rückwärts gehen, weil es von dem Sperrhacken h daran verhindert wird, und es steht daher jetzt a einem andern Zahne gegenüber als dieses vor dem Schließen der Kette der Fall war. Ein erneuertes Schließen der Kette dreht den Zeiger abermals um einen Buchstaben, und man wiederholt den Vorgang so lange, bis der Zeiger an dem gewünschten Buchstaben angekommen ist, an dem einige Zeit Halt gemacht wird. Hierauf wird der nächste Buchstabe der Depesche signalisirt, indem man in der gleichen Weise den Zeiger auf ihn führt u. s. w.

Diese Art von Telegraphen ist vorzugsweise an kleineren Stationen, zum Eisenbahndienste u. s. w. eingeführt. Auf größeren Stationen sind die von Morse erdachten Schreibtelegraphen im Gebrauche, weil sie neben der größeren Geschwindigkeit in der Signalisirung auch die Depeschen gedruckt liefern, was besonders der Controle wegen von Wichtigkeit ist.

Auch hier stellt d (Fig. 282) den in den Schließungsbogen eingeschalteten Electromagnet vor, der bei geschlossener Kette die Eisenplatte c anzieht,

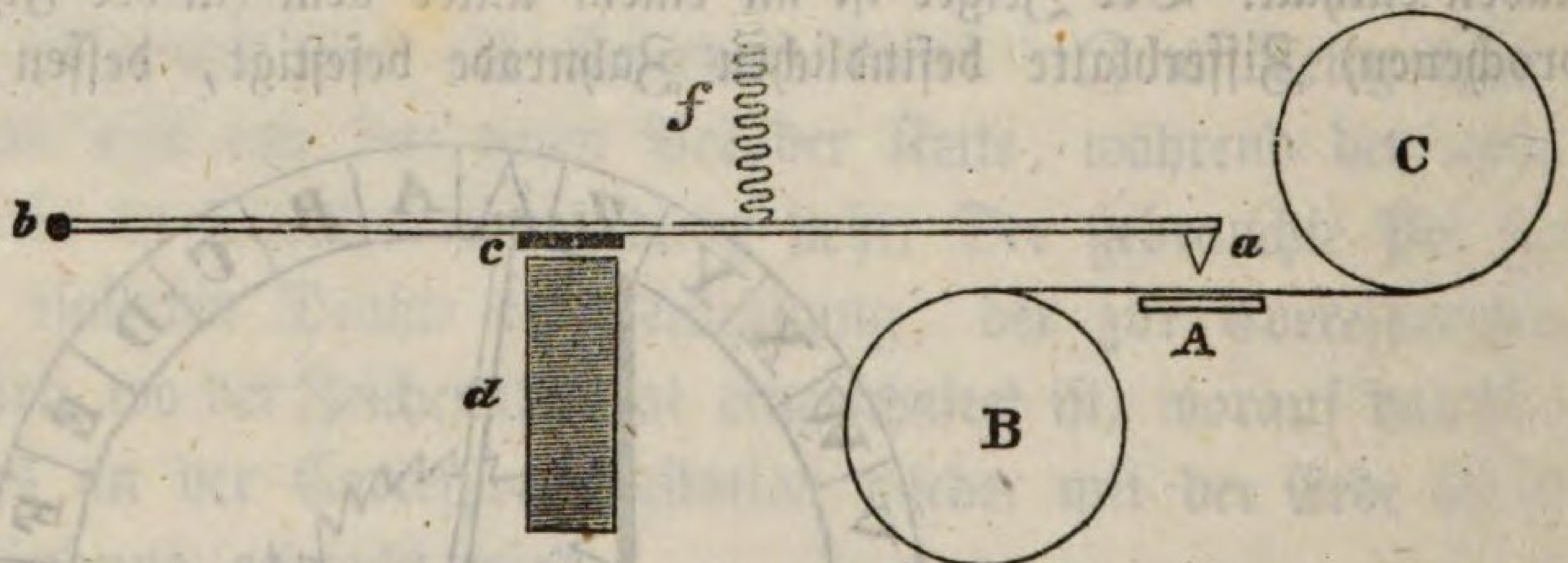


Fig. 282.

und mit ihr den um b drehbaren Hebelarm herabdrückt. An dem Ende dieses Hebelarmes in a befindet sich ein Stahlstift, der bei der Abwärtsbewegung auf eine Ebene A oder eine Walze aufschlägt. Bei dem Telegraphen befindet sich ein Uhrwerk, welches die beiden durch die Kreise B und C angedeuteten Walzen gleichmäßig um ihre Axe dreht und dabei einen aufgewickelten Papierstreifen von der einen Walze ab auf die andere aufwickelt. Geht der Papierstreifen an der Ebene A vorbei, so macht der Stift a, indem er herabschlägt, in ihr ein Zeichen. Der Stift a bleibt so lange unten, als der Strom den

in d befindlichen Eisenkern umkreist, als die Kette geschlossen ist. Wird diese geöffnet, so kehrt der Stift vermöge der Wirkung der Feder f in die in der Figur angegebene Stellung zurück. Bleibt der Strom nur einen Augenblick geschlossen, so macht der Stift auf dem Papiere nur einen Punct; ist dagegen der Strom von längerer Dauer, so wird auch ein je nach Umständen größerer oder kleinerer Theil des durch das Uhrwerk bewegten Papierstreifens unter dem Stifte weggeführt, und es entsteht ein längerer oder kürzerer Strich. Es gelingt so zwei verschiedene Elementarzeichen auf dem Papiere hervorzubringen, und durch Combination sowie durch Vervielfältigung derselben kann man das ganze Alphabet zusammensetzen. Bedeuten z. B. die Zeichen —, ., —., .—, . ., — — der Reihe nach die Buchstaben a, e, i, o, u, b, so wird die Combination — — — . . das Wort „bau" anzeigen. In derselben Weise lassen sich auch die Ziffern und die Interpunctionen behandeln.

Bei chiffrirten Depeschen, deren Inhalt dem Telegraphisten unbekannt bleiben soll, werden die die einzelnen Buchstaben bedeutenden Zeichen beliebig ausgewechselt.

Um die Kette bequem und sicher öffnen und schließen zu können, bedient man sich des sogenannten Schlüssels. Auf einem Brettchen ab (Fig. 283) befindet sich eine Messingsäule c, welche eine horizontale Drehungsaxe von Stahl enthält, um die sich ein mit einem elfenbeinernen Knopfe e versehener Messinghebel f drehen läßt. Vermöge der Wirkung der Feder g steht der Hebel f mit dem Messingknopfe h in leitender Verbindung. Durch Herabdrücken des Knopfes e kann diese Verbindung aufgehoben, dafür die Verbindung mit dem Messingknopfe i hergestellt werden.

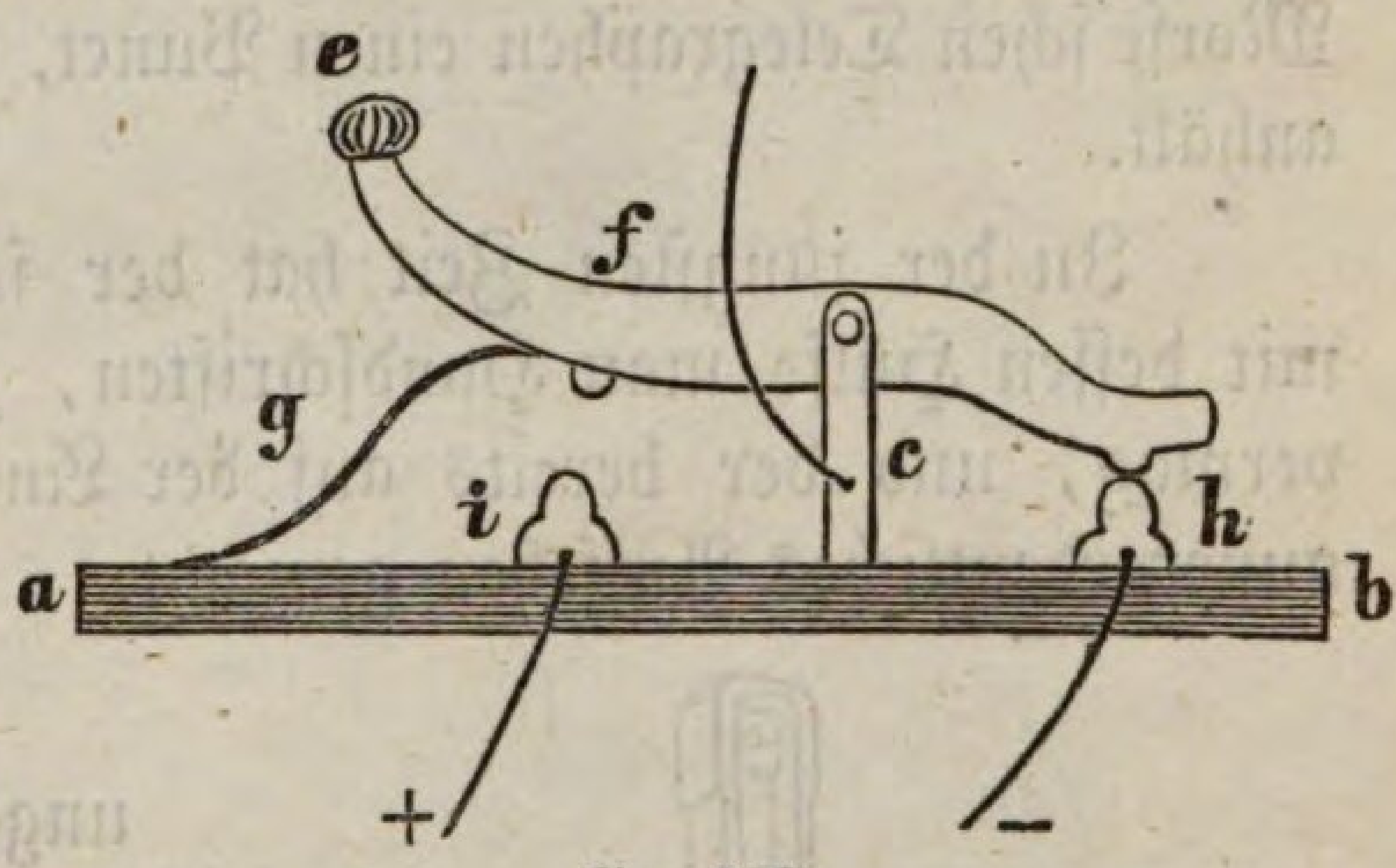


Fig. 283.

Von h geht ein Draht zu dem einen etwa dem —Pole der Kette, von c geht ein Draht nach der andern Station, von i führt ein Draht nach dem +Pole der Kette, von h ein zweiter zuerst zu dem Electromagnet und dann zu einer in der feuchten Erde vergrabenen Kupferplatte, der sogenannten Bodenplatte. Sind nun, wie dieses schematisch in Fig. 284 dargestellt ist, 2 Stationen mit einander verbunden und hat an der einen der Schlüssel die Stellung A, so ist der eine Pol der Kette K mit der isolirten Metallsäule i (Fig. 283) verbunden, und die Kette ist daher geöffnet, da für diese Stellung von i kein Weg weiter führt. Bei der Stellung A_1 ist der eine Pol (wir wollen setzen der positive) der Kette K_1 durch Vermittlung des Schlüssels mit dem Leitungsdrahte m, dem Schlüssel A, dem Electromagnet n und durch P mit der Erde in Verbindung, während andererseits der — Pol der Kette durch den Electromagnet n_1 und die Platte P_1 mit der Erde verbunden ist. Es kommt daher die + Electricität von P_1 aus aus der Erde, verfolgt die Richtung der Pfeile und geht bei P wieder in die Erde zurück, während die negative Electricität den entgegengesetzten Weg macht.

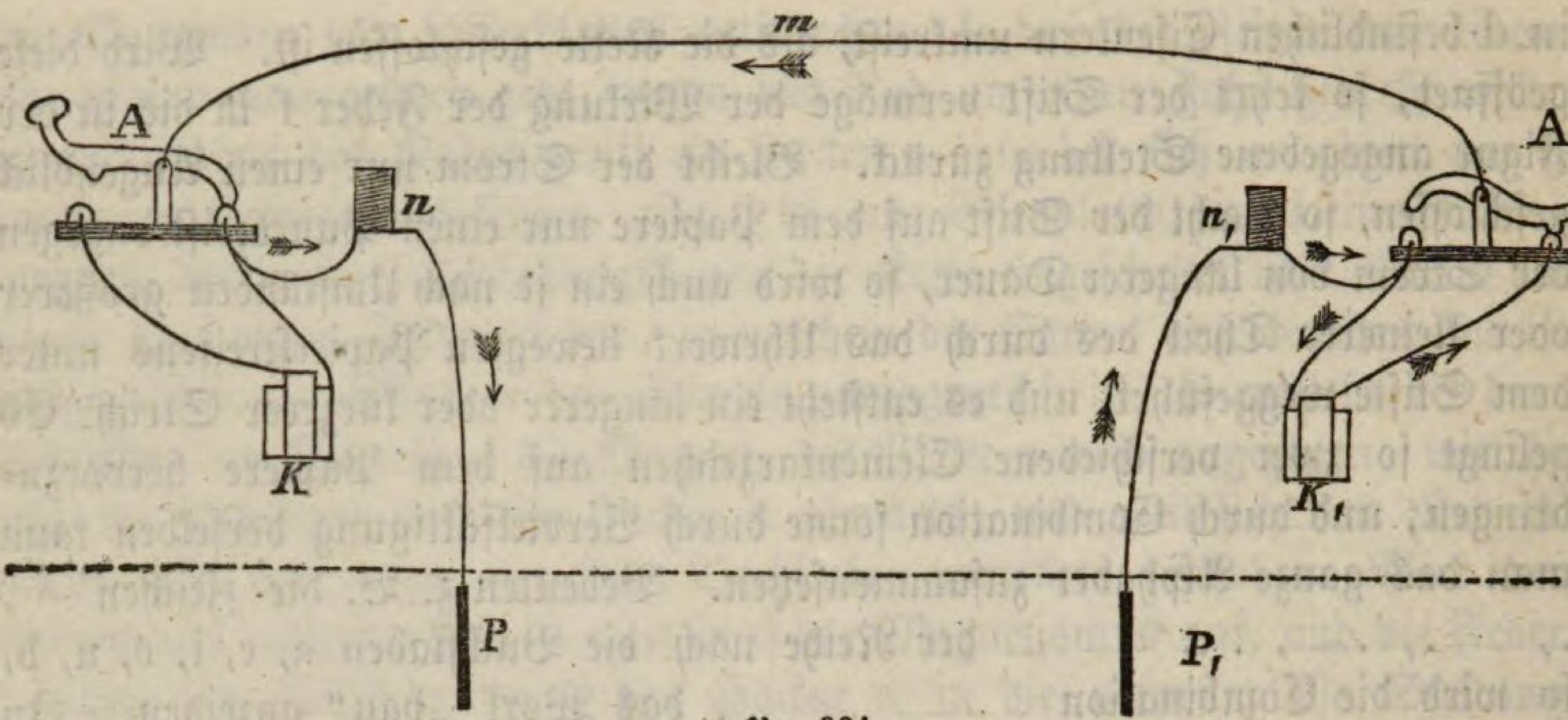


Fig. 284.

Es ergibt sich hieraus, daß beide Electromagnete als von einem Strome umkreist ihre Anker anziehen, und es wird daher eine Erscheinung folgen, welche verschwindet, wenn man dem Schlüssel A_1 die Stellung A gibt. So oft der Schlüssel aus der Stellung A in A_1 gebracht wird, eben so oft geht der Zeiger des Zeigertelegraphen um einen Buchstaben vorwärts. Läßt man die Stellung A_1 nur einen Augenblick dauern, so bekommt man bei dem Morse'schen Telegraphen einen Punct, einen Strich dagegen, wenn A_1 länger anhält.

In der jüngsten Zeit hat der sogenannte Pantelegraph von Caselli, mit dessen Hülfe man Handschriften, Zeichnungen u. s. w. zu telegraphiren vermag, und der bereits auf der Linie zwischen Paris und Lyon thätig ist, außerordentliches Aufsehen gemacht.

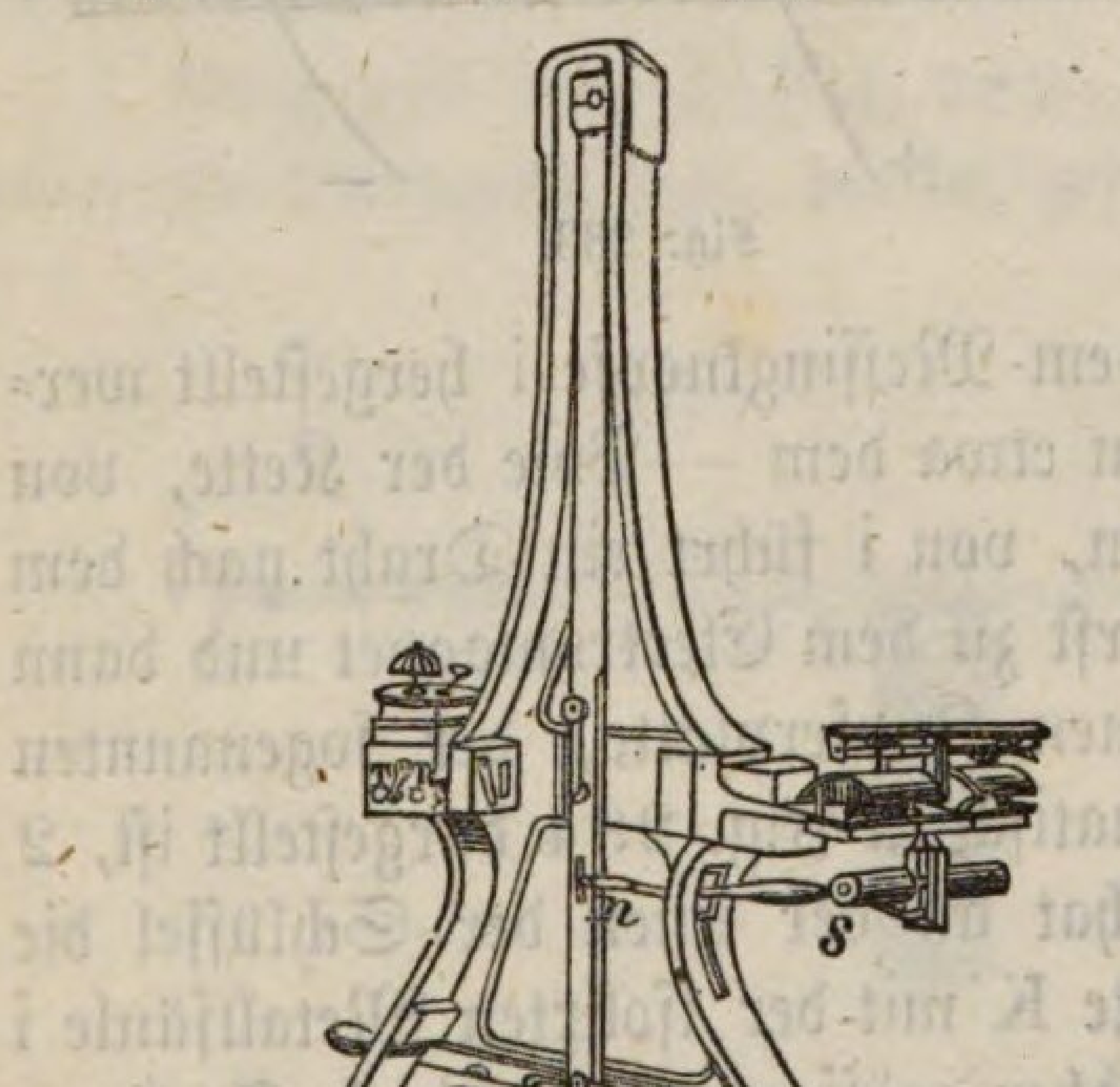


Fig. 285.

Ein stählernes Pendel (Fig. 285) ungefähr 2 Meter lang ist aufgehängt an der Spitze des gußeisernen Rahmens, welcher den ganzen Apparat trägt. Dieses Pendel endigt nach unten mit einem schweren Eisenkörper, welcher zwischen 2 Electromagneten schwingt. Unter der Einwirkung eines electrischen Stromes, erzeugt durch eine locale Batterie, die unabhängig von der Batterie der Linie ist, werden die Eisenkerne der Electromagnete abwechselnd magnetisch, und der Eisenkörper des Pendels von denselben angezogen. Unmittelbar nach dem Contacte wird die Magnetisirung durch einen Stromunterbrecher, den die Maschine selbst regulirt, aufgehoben, und das Pendel fällt zurück. Durch die erlangte Geschwindigkeit erreicht es den andern Eisenkern, der mittlerweile magnetisch geworden, und der es ebenso anzieht, wie

vorhin der erste, um es dann sogleich wieder fallen zu lassen. Diese Bewegung geht während der Thätigkeit des Apparates ununterbrochen fort.

In der Nähe der Mitte der Pendelstange ist eine Zugstange (ns Fig. 285, ef Fig. 286) angebracht, welche den gußeisernen Rahmen durchsetzt und die Bewegung auf den Theil überträgt, welchen man rechts in Fig. 285 sieht, und zu welchem Fig. 286 eine detaillirte Zeichnung gibt. Diese Zugstange ist in e (Fig. 286) mit dem untersten Ende eines verticalen Hebels es verbunden, der seinen Drehungspunct in einer von der Platte ab

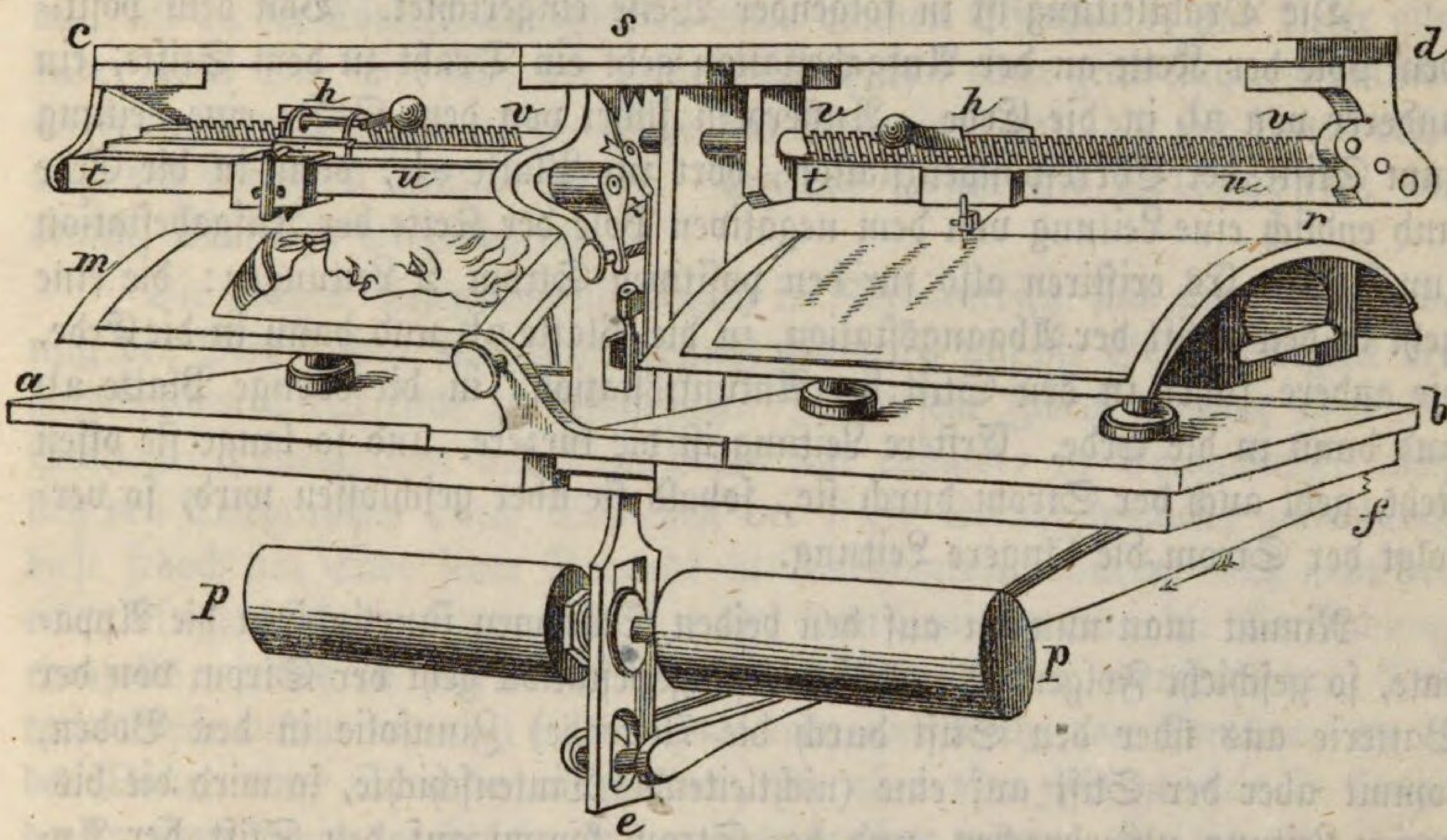


Fig. 286.

getragenen Axe findet. Die Platte ab dient außerdem als Stütze für 2 cylindrische Oberflächen m und r, eine Art kleiner Pulte, auf welchen die Papiere mit den Depeschen befestigt werden. Unmittelbar darüber befindet sich eine Metallspange cd, die rechtwinklig auf den Hebel es gelöthet ist, so daß sie mit ihm die Form eines T bildet, welche unter der Einwirkung der durch es von dem Pendel übertragenen Schwingungsbewegung hin und her geht und 2 Stücke mitführt, wovon jedes einen eisernen Stift hält, der die Depeschen auf dem Papiere zeichnet. Dieser schwingende Theil ist durch 2 unter der Platte befindliche Gegengewichte pp im Gleichgewichte gehalten.

Nimmt man nun an, der Apparat sei in Bewegung, so ist es klar, daß wenn eine vollständige Schwingung stattgefunden hat, jeder der beiden Stifte eine Linie rechtwinklig auf das darunter befestigte Papier gezogen hat, und daß bei unveränderter Sachlage die Stifte bei jeder Schwingung dieselbe Linie hin und zurück beschreiben. Wenn aber der Stift nach einer Schwingung durch eine Querverschiebung ein wenig vorrückt, so beschreibt er auf dem Papiere eine neue Linie, welche der ersten sehr nahe liegt, und wenn diese Querverschiebung sich nach jeder Schwingung wiederholt, so erhält man eine Menge paralleler Linien, und der Stift hat nach einer gewissen Zeit die ganze Oberfläche, über der er sich befindet, durchlaufen.

Die zu gebende Depesche wird mit gewöhnlicher Tinte auf eine Zinnfolie geschrieben, auf der Ankunftsstation wird auf die cylindrische Fläche r ein gewöhnliches mit Cyankalium präparirtes Papier gelegt. Geht nun der eiserne Stift über ein solches präparirtes Papier hinweg, so unterbleibt für gewöhnlich jede Erscheinung; wird aber in den Stift ein Strom so geleitet, daß dieser von dem Stifte auf das Papier übergeht, so wird das Cyankalium zerlegt, und der Stift hinterläßt auf dem Papiere eine blaue Linie von Eisencyanür.

Die Drahtleitung ist in folgender Weise eingerichtet. Von dem positiven Pole der Kette an der Aufgabestation geht ein Draht zu dem Stifte, ein anderer von ab in die Erde. Außerdem führt von dem Stifte eine Leitung zum Stifte der Correspondenzstation, dort zur Platte ab, dann in die Erde und endlich eine Leitung von dem negativen Pole der Kette der Aufgabestation zur Erde. Es existiren also für den positiven Strom 2 Leitungen: die eine geht in den Stift der Abgangsstation, in die Platte ab und dann in die Erde, die andere führt in den Stift der Ankunftsstation, in die dortige Platte ab und dann in die Erde. Erstere Leitung ist die kürzere, und so lange sie offen steht, geht auch der Strom durch sie, sobald sie aber geschlossen wird, so verfolgt der Strom die längere Leitung.

Nimmt man nun an auf den beiden Stationen functioniren die Apparate, so geschieht Folgendes. Auf der Abgabestation geht der Strom von der Batterie aus über den Stift durch die (leitende) Zinnfolie in den Boden, kommt aber der Stift auf eine (nichtleitende) Tintenschichte, so wird die bisherige Leitung unterbrochen, und der Strom kommt auf den Stift der Ankunftstation, wo der Punct blau markirt wird. So oft also der übertragende Stift eine Tintenstelle passirt, macht der empfangende eine blaue Stelle auf dem Papiere, und weil die beiden Stifte nach und nach die ganze Oberfläche durchlaufen, wird alles was auf der Zinnfolie mit Tinte gezeichnet ist, vollkommen getreu auf dem Papiere der andern Station blau wiedergegeben.

Die Querverschiebung der Stifte geht in ganz einfacher Weise vor sich. Der Stift ist an dem kleinen Wagen h befestigt, der auf der Stange tu, die zur Führung dient, hin und her gleiten kann. Der kleine Wagen trägt eine Schraubenmutter, und diese Schraubenmutter greift in eine Schraube ohne Ende vv, welche an ihren äußersten Puncten so befestigt ist, daß sie sich nur um ihre Axe drehen kann. Wenn die Schraube sich dreht, so setzt sich die Schraubenmutter in Bewegung und mit ihr der Stift. Zwischen den beiden Stützen des verticalen Hebels es befindet sich ein kleiner Mechanismus z, der ganz der in Fig. 188 dargestellten Hemmung der Uhrwerke analog ist. Wie dort durch die Umdrehung eines Rades ein Pendel in Bewegung gesetzt wird, wird hier durch die pendelartige Bewegung des Hebels es ein Rad gedreht, welches diese Drehung der Schraube vv mittheilt.

Zur Hervorbringung deutlicher Depeschen ist es unbedingt nothwendig, daß die beiden großen Pendel gleichmäßig schwingen. Man erkennt dieses daran, wenn 2 an der Abgangsstation parallele Linien es auch bei der An-

kunftsstation bleiben. Sind diese an der letzteren gegen einander geneigt, so muß das Pendel geändert werden.

Der Apparat trägt 2 cylindrische Oberflächen und 2 Stifte, so daß jedesmal 2 Depeschen gleichzeitig befördert werden können.

Reis hat die Schwingungen, welche eine thierische Membran unter der Einwirkung eines Tones macht, dazu benützt, um die Kette abwechselnd zu öffnen und zu schließen, so daß dieses um so rascher erfolgt, je höher der Ton ist. Der so nach der Wahl des Tones willkürlich unterbrochene Strom umkreist an der Correspondenzstation einen dünnen Eisendraht, und dieser gibt dabei einen Ton von sich, der wahrscheinlich von einer zeitweiligen Volumsänderung herrührt und gleiche Höhe mit demjenigen hat, der zur Unterbrechung des Stromes benützt wurde. Hierauf beruht die Telephonie, die Kunst, Musik zu telegraphiren.

Die großen Telegraphenleitungen in Nordamerica sind unter Anwendung des Morse'schen Apparates benützt worden, um die Geschwindigkeit der galvanischen Electricität zu bestimmen. Zu diesem Zwecke brachte man die Stationen Washington und San Louis mit einander in Verbindung; man ließ den Telegraphen durch Schließen der Kette Striche machen, unterbrach diese jedoch am Ende jeder Secunde in Washington dadurch, daß man für einen Augenblick die Kette öffnete. In San Louis wurde die Verbindung ebenfalls, jedoch in willkürlich gewählten Augenblicken unterbrochen. Auf diese Weise bekam man an beiden Stationen eine Reihe von Strichen, die je der Dauer einer Secunde entsprachen, die aber von Zeit zu Zeit in Folge der in San Louis gegebenen Zeichen unterbrochen waren. Gesetzt, die Electricität brauche von Washington nach San Louis eine Viertelsecunde, so fängt an letzterem Orte der Stift an, einen Strich zu zeichnen, wenn der Stift in Washington schon den vierten Theil seines Striches gemacht hat. Unterbricht man in diesem Augenblicke in San Louis, so zeigt sich die Unterbrechung in Washington auch eine Viertelsecunde später, und die entsprechende Unterbrechung steht daher in San Louis am Anfange, in Washington in der Mitte eines Secundenstriches. Aus der verschiedenen Lage der Unterbrechungsstelle in den beiderseitigen Secundenstrichen ergibt sich die Geschwindigkeit der Electricität der Art, daß die Verrückung einer Pause an dem einen Orte gegen die am andern beobachtete der doppelten Zeit entspricht, welche die Electricität braucht, den Weg von der einen Station zur andern einmal zurückzulegen. Das mittlere Resultat, welches man aus einer größeren Anzahl von Versuchen, die an verschiedenen Stationen gemacht wurden, erhielt, war eine Geschwindigkeit von 17021 engl. oder 3692 deutschen Meilen. Nach Versuchen von Wheatstone ist die Geschwindigkeit der Reibungselectricität 288000 engl. Meilen, also ungefähr 17mal größer.

§. 270. Bewegt sich ein Strom durch einen Draht abcd (Fig. 288), der mit 2 genau senkrecht über einander stehenden Stahlspitzen in die mit Quecksilber gefüllten Näpfchen m und n getaucht ist, und sich ganz leicht um eine durch die Stahlspitzen gezogene Senkrechte fg drehen

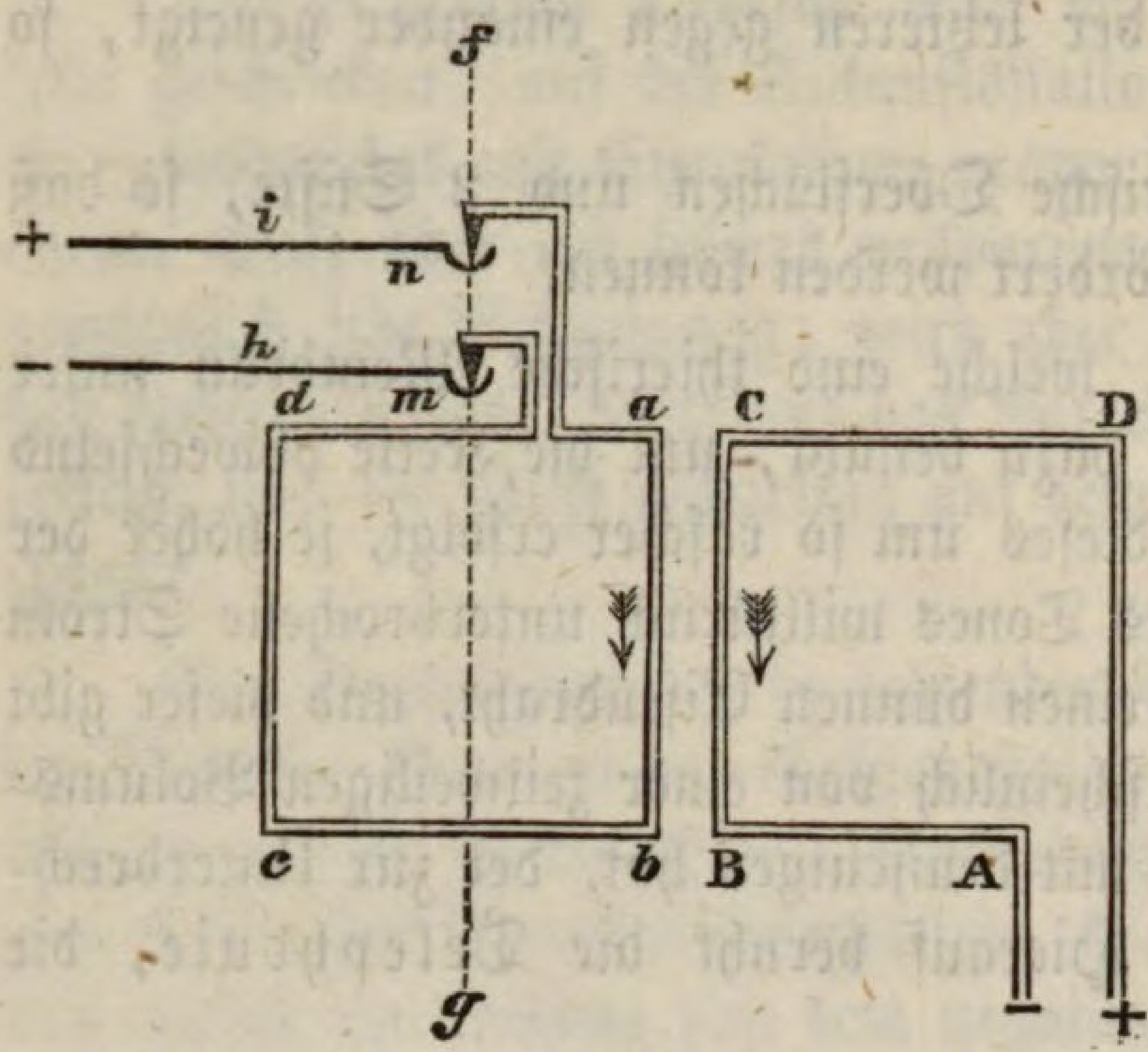


Fig. 287.

läßt, während die beiden Näpfchen durch die Zuleitungsdrähte h und i mit den Polen einer Kette in Verbindung stehen, so wird er von einem Strome, der durch den Draht ABCD geht, dessen Stück BC mit ab parallel ist, bald angezogen, bald abgestoßen. Gehen die beiden Ströme so, wie es die Richtung der Pfeile angibt, daß sie also in gleicher Richtung laufen, so findet eine Anziehung ziehung statt, und dreht man abcd um fg, so stellt sich der Draht so, daß das Stück ab dem Stücke BC möglichst nahe liegt, während eine gegenseitige Abstoßung eintritt, wenn der eine Strom in der einen, der andere in der andern Richtung läuft. Deutlicher erhält man jedoch dasselbe Resultat, wenn man statt des Drahtes abcd (Fig. 287) den Draht abe (Fig. 288) verwendet.

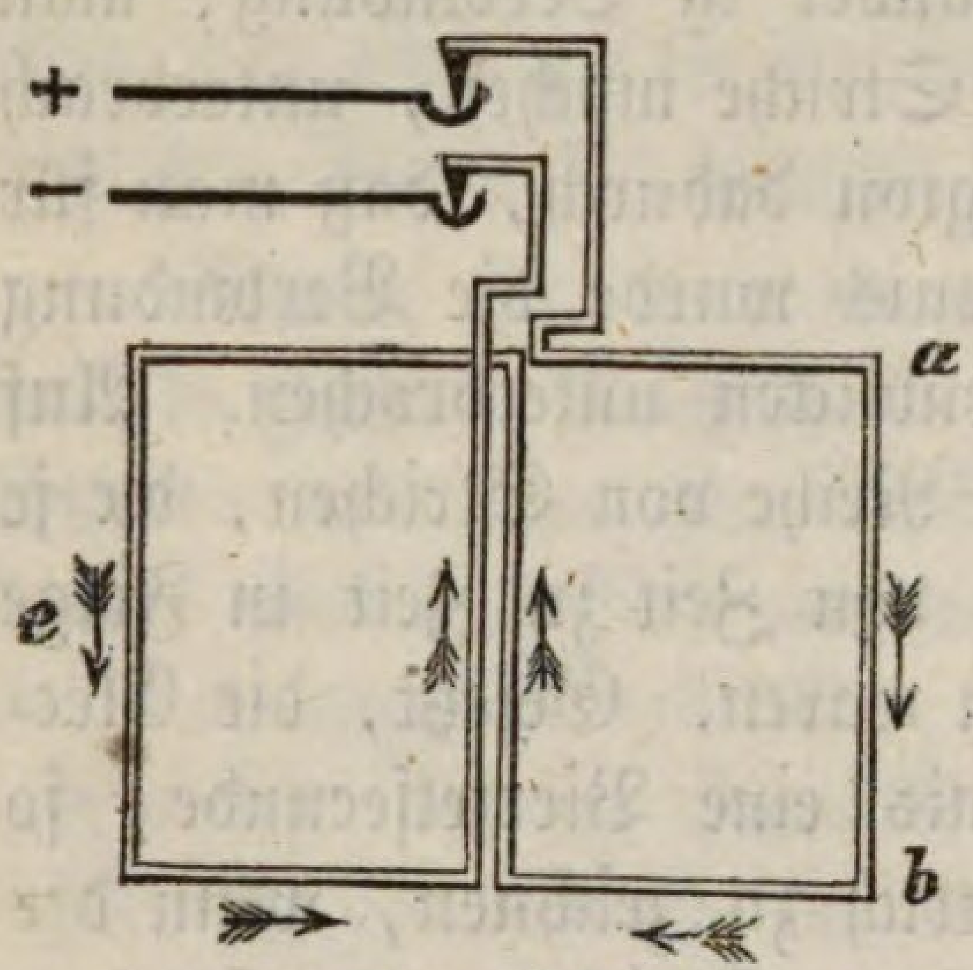


Fig. 288.

Durch Abänderung der Gestalt und der gegenseitigen Stellung der Drähte läßt sich dieser Versuch in der manchfaltigsten Weise vornehmen. Nennt man gekreuzte Ströme alle diejenigen, welche einander nicht parallel sind, gleichviel ob sie einander schneiden oder nicht ist z. B. der Draht ab (Fig. 289) oberhalb des Drahtes AB, so ergibt sich durch Abänderung des Versuches das allgemeine Resultat, daß 2 gekreuzte Drähte sich so zu stellen suchen, daß sie parallel sind, und die Ströme in ihnen der gleichen Richtung folgen. Diejenigen Stromtheile, die der Stelle, in welcher beide Ströme sich am nächsten sind, sich nähern oder von ihr sich entfernen, ziehen sich an; es findet Abstoßung statt, wenn der eine Stromtheil hingeht, der andere weg. In Fig. 289 ziehen sich also die Theile aC und AC, dann bC BC an, die Theile ac und BC, sowie AC und bC stoßen sich ab.

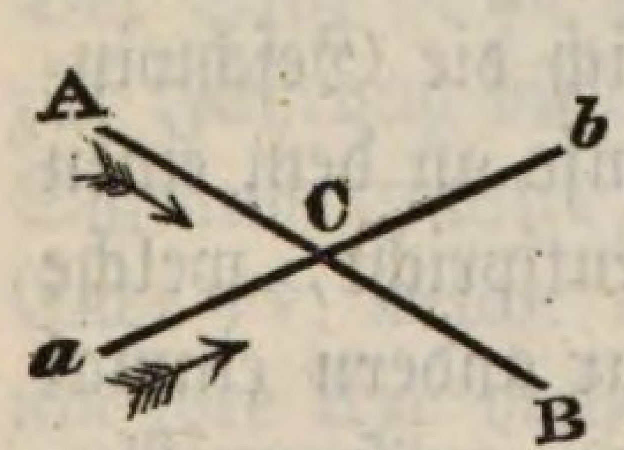
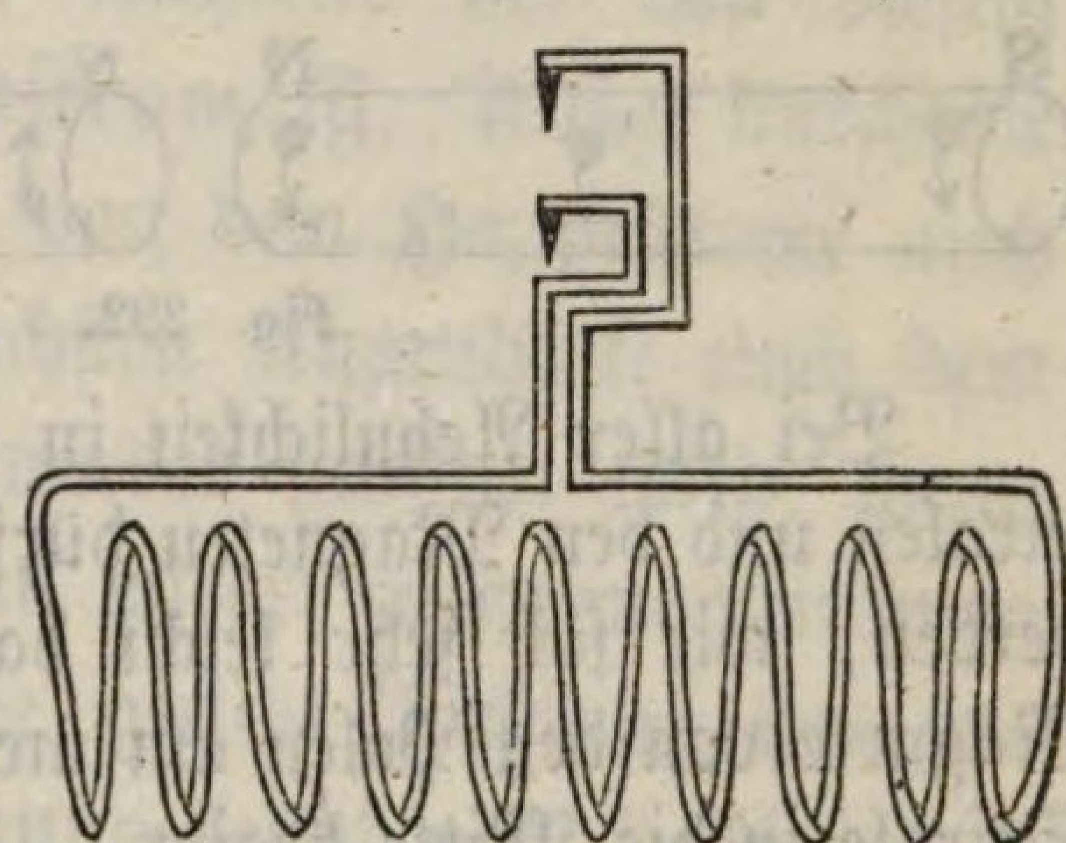


Fig. 289.

Das Gesetz, welchem diese Wirkungen bezüglich ihrer Intensität gehorchen, wurde von Ampère aufgestellt, von W. Weber experimentell bewiesen. Nach demselben ist die gegenseitige Wirkung zweier

kleinsten Stücke der Ströme dem Producte aus den Intensitäten beider Ströme direct, dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional. Für längere Drähte summiren sich die Wirkungen aller in denselben befindlichen kleinsten Stücke je nach deren jeweiliger Lage und Entfernung.

§. 271. Entfernt man den Draht ABCD (Fig. 287), so daß der Strom also nur durch den Draht abcd geht, so dreht sich dieser so, daß seine Ebene auf dem magnetischen Meridian senkrecht steht, und daß in dem untern Theile bc die Richtung des Stromes die von Ost nach West ist. Bei Anwendung des Drahtes abc (Fig. 288) erhält man dieses Resultat nicht, weil die Wirkungen der horizontalen Stromtheile sich paarweise aufheben. Dieser Draht bietet daher ein Analogon zu der astatischen Nadel (§. 267), aber eben wegen dieser Unabhängigkeit von dem Erdmagnetismus eignet sich derselbe besser zur Untersuchung der Wirkung des Stromes als der Draht abcd in Fig. 287. Eine Drahtspirale (Fig. 290), das sogenannte Solenoid, welche an die Stelle von abcd gebracht wird, ist eigentlich nur eine Vereinigung von mehreren Drähten, in jeder Windung geht unten der Strom von Ost nach West, die Spirale stellt sich daher wie ein Magnetstab in den magnetischen Meridian, und es ergibt sich hieraus ein Anhaltspunct, die Wirkung des Magnetismus auf die Thätigkeit von electrischen Strömen zurückzuführen.


Fig. 290.

Nach Ampère ist jedes kleinste Theilchen eines Eisen- oder Stahlstückes von einem Strome umkreist, wobei jedoch vorausgesetzt werden muß, daß diesem hypothetischen Strome keinerlei Leitungswiderstand im Wege steht, weil er sonst in kürzester Zeit erlöschen würde. Die Richtung, welche der je ein kleinstes materielles Theilchen umkreisende Strom verfolgt, ist bei dem Eisen und dem gewöhnlichen Stahl von dem einen Theilchen zum andern verschieden, und daraus folgt, daß die Wirkungen aller sich gegenseitig aufheben, weßhalb das Eisen und der gewöhnliche Stahl keinerlei Magnetismus zeigen. Werden durch irgend ein Mittel die kleinen Einzelströme einander parallel gemacht, so üben sie auch eine Wirkung nach außen aus, das Eisen, der Stahl sind magnetisch geworden. Da die Erde ebenfalls magnetische Wirkungen äußert, so müssen auch bei ihr Ströme angenommen werden,

und ihre Wirkung ist eine derartige, daß aus ihnen ein großer Strom resultirt, der von Ost nach West, also mit der Sonne geht, wie sich nach dem vorigen Paragraphe aus dem Umstande ergibt, daß der Draht abcd (Fig. 287) sich so stellt, daß der Strom im untern Stücke bc von Ost nach West gerichtet ist. Steht ein Magnetstab im magnetischen Meridian, und sieht ein südlich von demselben stehender Beobachter gegen ihn hin, so erfolgt für diesen die Bewegung in demselben Sinne wie die Zeiger der Uhr, also rechtläufig. Das Nordende des Stabes zeigt dem gegenüberstehenden Beobachter einen rückläufigen Strom. Unter Annahme dieser Ströme ergibt sich eine sehr einfache Erklärung der gegenseitigen Anziehung und Abstoßung zweier Magnete, deren ungleichnamige Pole sich zu- oder abgewendet sind. So ergibt sich in Fig. 291 eine Anziehung, denn die Ströme verfolgen in beiden Magneten dieselbe Richtung, in Fig. 292 eine Abstoßung, weil die Ströme entgegengesetzte Richtung haben.

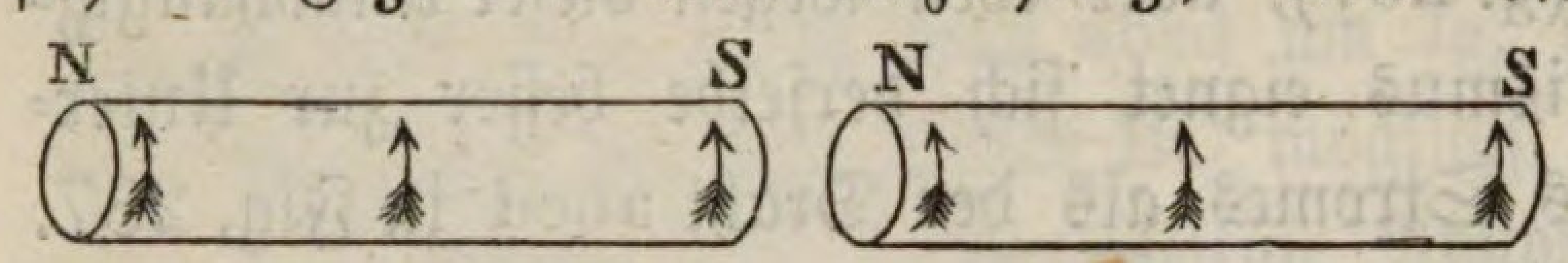


Fig. 291.

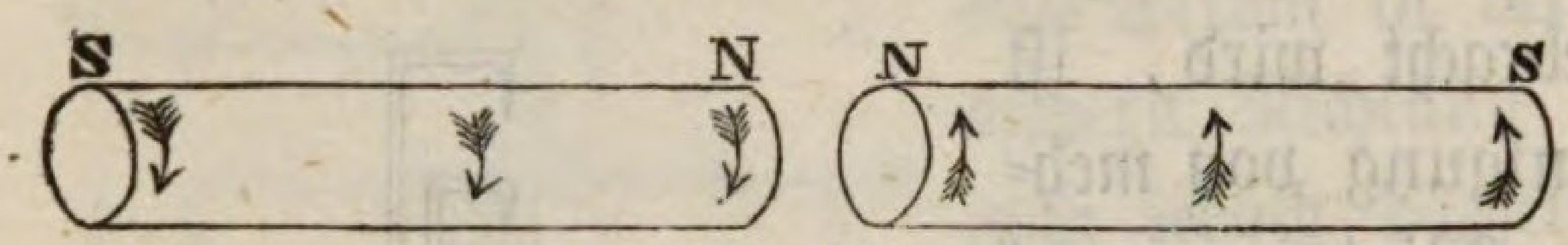


Fig. 292.

Bei aller Aehnlichkeit in der Wirkung von den durchströmten Drahtspiralen und den Magneten dürfen beide doch nicht als identisch angenommen werden, wie sich sehr leicht daraus ergibt, daß eine kleine Nadel bei dem Magnete von den Polen am meisten angezogen wird, während sie sich bei der Spirale in die Mitte begibt.

§. 272. Ist deg (Fig. 293) der Südpol eines vertical stehenden Magnetstabes, ab ein verticaler Draht, in dem sich ein Strom abwärts bewegt, so findet zwischen dem magnetischen Strome an der Stelle d des Magnetes und dem Strome im Drahte Anziehung statt, denn beide bewegen sich dem Puncte zu, wo sie einander am nächsten sind. Andererseits stoßen sich der Strom in g und der im Drahte ab. Ist der Magnet fest, während der Draht sich bewegen läßt, so geht letzterer in der Richtung fdeg um den Magnet herum. Würde der Strom im Drahte statt abwärts aufwärts gehen, so wäre die Bewegung des Drahtes die entgegengesetzte. Hätte man statt des Südpoles den Nordpol des Magnetstabes, so würde natürlich seine Wirkung der des Südpoles entgegengesetzt sein. Wird der Versuch so abgeändert,

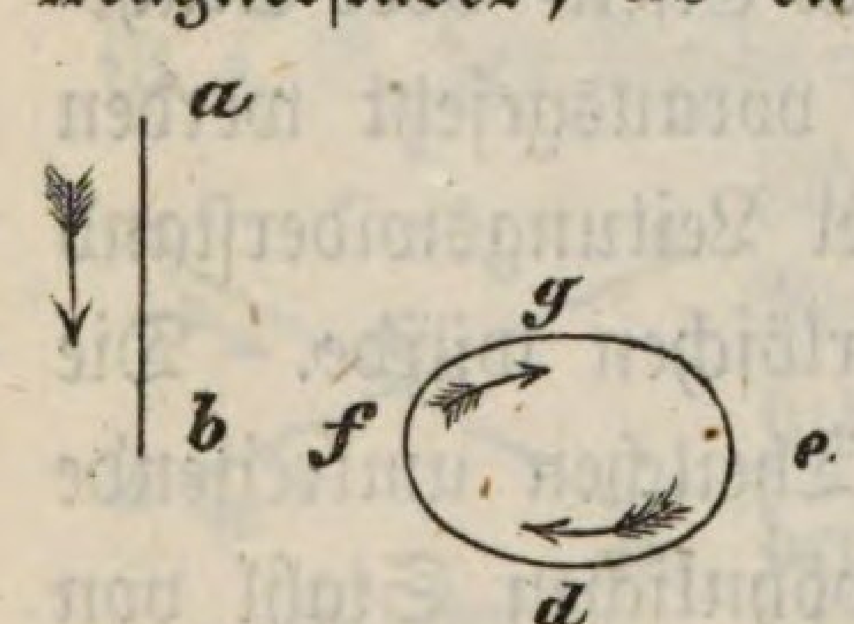


Fig. 293.

daß der Magnet sich um seine Axe drehen kann, während der Draht fest ist, so erfolgt eine Rotation des Magnetes, also der Gegensatz der vorigen Erscheinung.

§. 273. Hat man 2 Drähte, von denen der eine der Schließungsdraht einer Kette ist, während der andere von dem ersteren isolirt ohne mit einer Kette in Verbindung zu stehen in sich selbst zurückläuft, so übt, wenn beide Drähte auf einer längeren oder kürzeren Strecke neben einander liegen, der erste Draht eine Einwirkung auf den zweiten aus. In dem Augenblicke, in welchem die Kette geschlossen wird, in dem also ein Strom den ersten Draht durchläuft, geht ein anderer Strom durch den zweiten, obwohl mit keiner Kette in Verbindung stehenden Draht. Dieser Strom hat aber eine Richtung, welche der des ihn veranlassenden Stromes entgegengesetzt ist. Man nennt nach Faraday einen solchen Strom, welcher nur Seitenwirkung eines andern ist, einen Inductionsstrom, man sagt auch, der ursprüngliche Strom sei der inducirende oder Hauptstrom, während der von diesem hervorgerufene der inducirte oder Nebenstrom ist. Außer durch die Richtung unterscheidet sich der Nebenstrom von dem Hauptstrome auch durch die Dauer, denn er erlischt im nächsten Augenblicke nach dem Entstehen, und erst dann, wenn die Kette wieder geöffnet wird, wenn also der Hauptstrom aufhört, beobachtet man wieder einen momentanen Strom im Nebendrahte, der aber jetzt die gleiche Richtung hat wie der Hauptstrom. Man kann diese Erscheinung leicht mit Hülfe eines Apparates nachweisen, der schematisch in Fig. 294 angegeben ist, und in welchem K die Kette, ab deren Schließungsbogen bedeutet. Eine Strecke lang neben ab läuft ein anderer Draht cd, zwischen dessen Ende ein Multiplicator M eingeschaltet ist. Sowie die Kette K durch ab geschlossen wird, beobachtet man eine Ablenkung der Multiplicatornadel M; diese Ablenkung ist aber nicht von Dauer, die Nadel kehrt nach ein paar Oscillationen in ihre Ruhelage zurück, wird jedoch wieder abgelenkt, sobald man die Kette wieder öffnet, den Hauptstrom unterbricht. Die Richtung, nach der die Multiplicatornadel abgelenkt wird, gibt die Richtung des inducirten Stromes an. Wird der Hauptstrom stärker, so wird es natürlich auch der Nebenstrom, und dasselbe ist der Fall, wenn die Strecke, an welcher der Nebendraht der Wirkung des Hauptdrahtes ausgesetzt ist, vergrößert wird. Am zweckmäßigsten

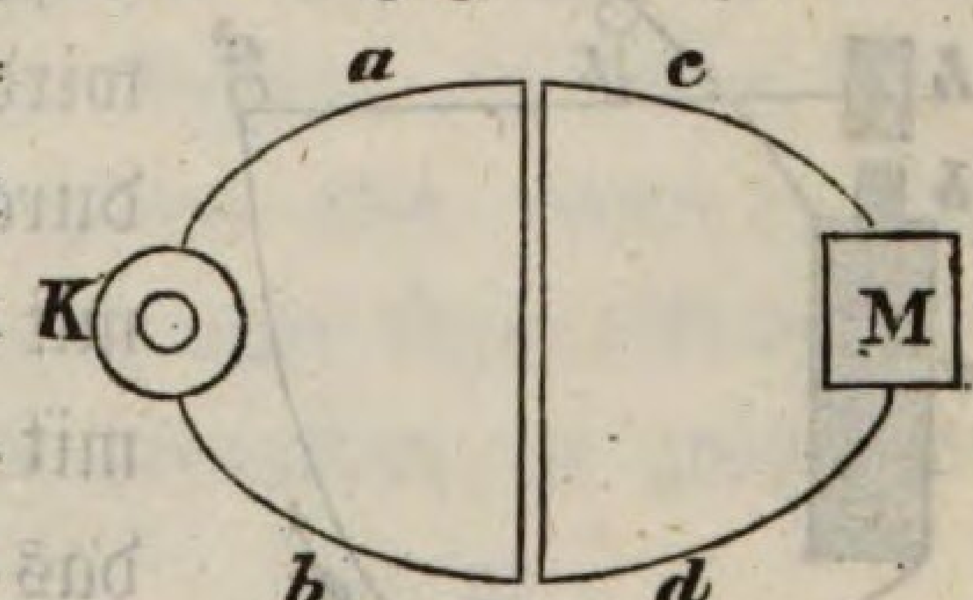


Fig. 294.

benützt man 2 Spiralen, von denen die eine über die andere geschoben werden kann. Die innere aus einem dickeren übersponnenen Drahte gebildete Spirale leitet den Hauptstrom, die äußere aus dünnem Drahte hergestellte den Neben- oder Inductionsstrom.

Die chemischen und andern Wirkungen des inducirten Stromes sind schwach mit Ausnahme der physiologischen, welche letztere die des Hauptstromes weit übertreffen können, weßhalb sich die inducirten Ströme ganz besonders zu Zwecken der Aerzte eignen. In diesem Falle befindet sich an jedem Ende des Nebendrahtes eine Handhabe von Metall, welche der Patient, der hier an die Stelle des Multiplicators (M der Fig. 294) tritt, in die befeuchteten Hände nimmt.

In Beziehung auf die physiologische Wirkung äußern die inducirten Ströme viele Analogie mit den Wirkungen der Reibungselectricität, der sie auch hinsichtlich der Länge der Funken, die sie unter günstigen Umständen hervorbringen können, nahe stehen. Mit Hülfe der großen Ruhmkorff'schen Apparate kann man Funken von 1 Zoll und darüber Länge erhalten.

Wird der Strom in einer gegebenen Zeit öfter unterbrochen, so wiederholt sich natürlich auch die physiologische Wirkung öfter und man hat eigene Unterbrechungsapparate, die ihren Dienst nach Bedarf rascher oder langsamer versehen. Die gewöhnlichste Einrichtung, die man an den Handapparaten der Aerzte allenthalben sehen kann, ist die in Fig. 295 schematisch dargestellte. Die Spirale a ist um einen Eisenkern b gewunden, der jedesmal magnetisch wird, sobald die Spirale von einem Strome durchzogen ist. Der eine Pol der Kette K ist mit dem einen Ende der Spirale, der andere mit dem Metallknopfe d in Verbindung, während das andere Ende der Spirale zu dem Knopfe e führt. An d ist ein federnder Metallstreifen befestigt, der an seinem Ende den eisernen Hammer h trägt, und in der Ruhelage die in der Figur angegebene Stellung hat. Von dem Knopfe e geht ein Platinstift i bis zu diesem Streifen herab, wenn dieser in der Ruhelage ist, und stellt so eine metallische Verbindung zwischen e und d her. Unter diesen Umständen geht der Strom von der Kette K der Reihe nach zu d, i, e in die Spirale a und dann in die Kette zurück, letztere ist daher geschlossen, der Eisenkern b wird magnetisch,

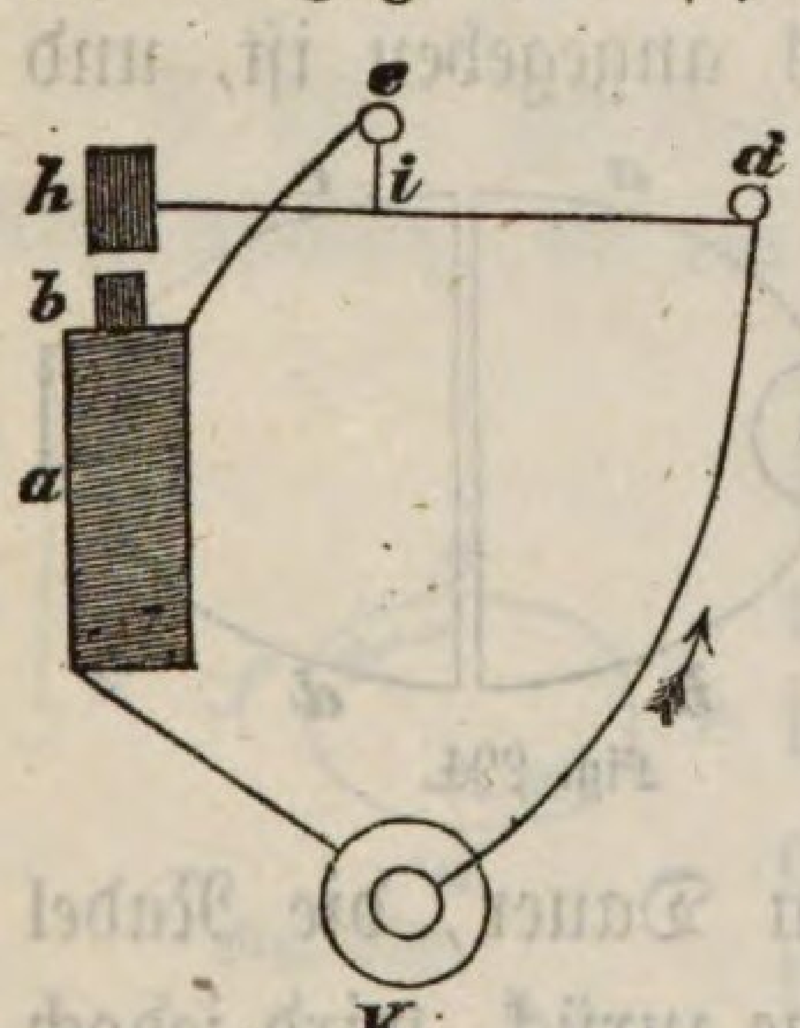


Fig. 295.

und zieht den Hammer h an. Dieser bewegt sich gegen b hin und drückt die Feder hd herab. Sobald dieses geschehen, ist der Platinstift i mit der Feder nicht mehr in Berührung, die Kette ist geöffnet, und der Eisenkern b verliert daher seinen Magnetismus wieder. In Folge dessen geht der Hammer h, der nun von b nicht mehr angezogen wird, vermöge der Federwirkung wieder in die ursprüngliche Stellung zurück, die Kette wird also wieder geschlossen, und diese Schließung veranlaßt durch die abermalige Anziehung des Hammers eine neue Unterbrechung des Stromes. Je nachdem der Platinstift mehr oder weniger herabgeschoben wird, werden die Bewegungen des Hammers mehr oder weniger beschleunigt. Hat man über die Spirale a, die dem Strome zur Bahn dient, eine zweite geschoben, so wird in dieser nach dem Vorstehenden bei jeder Schließung und Oeffnung der Kette ein Strom inducirt, wenn man die beiden Enden dieser Inductionsspirale mit einander verbindet; hält aber ein Mensch diese beiden Ende mittelst Handhaben, so wird er als Leiter jedesmal von dem Inductionsstrome durchzogen, bekommt also jedesmal einen electrischen Schlag. Bei dieser Einrichtung braucht man 2 Spiralen, man kann jedoch wie im nächsten Paragraphe gezeigt werden wird, noch eine derselben ersparen. Der in der Spirale eingeschlossene Eisenkern bewirkt eine Verstärkung der Wirkung, welche noch wächst, wenn man statt eines massiven Kernes eine größere Anzahl von Drähten benützt.

§. 274. Geht der Strom durch die Windungen einer Spirale, so wirkt der in der einen Windung der letzteren befindliche Theil auf die nächste Windung, und inducirt bei seinem Beginne in dieser einen Strom von entgegengesetzter Richtung, von gleicher aber, wenn er aufhört, und dieser inducirte Strom, der sogenannte Extrastrom, ist unter sonst gleichen Umständen um so mehr bemerkbar, je größer die Zahl der Windungen ist. Hat man (Fig. 296) in S eine mit einer Unterbrechungsvorrichtung versehene Spirale, in K die Kette, so geht bei dem Schließen der Hauptstrom in der Richtung der Pfeile, während der Nebenstrom den entgegengesetzten Weg macht, und die Wirkungen des letzteren werden durch die des ersteren aufgehoben; öffnet man aber die Kette, so hört der Hauptstrom auf, und wenn man

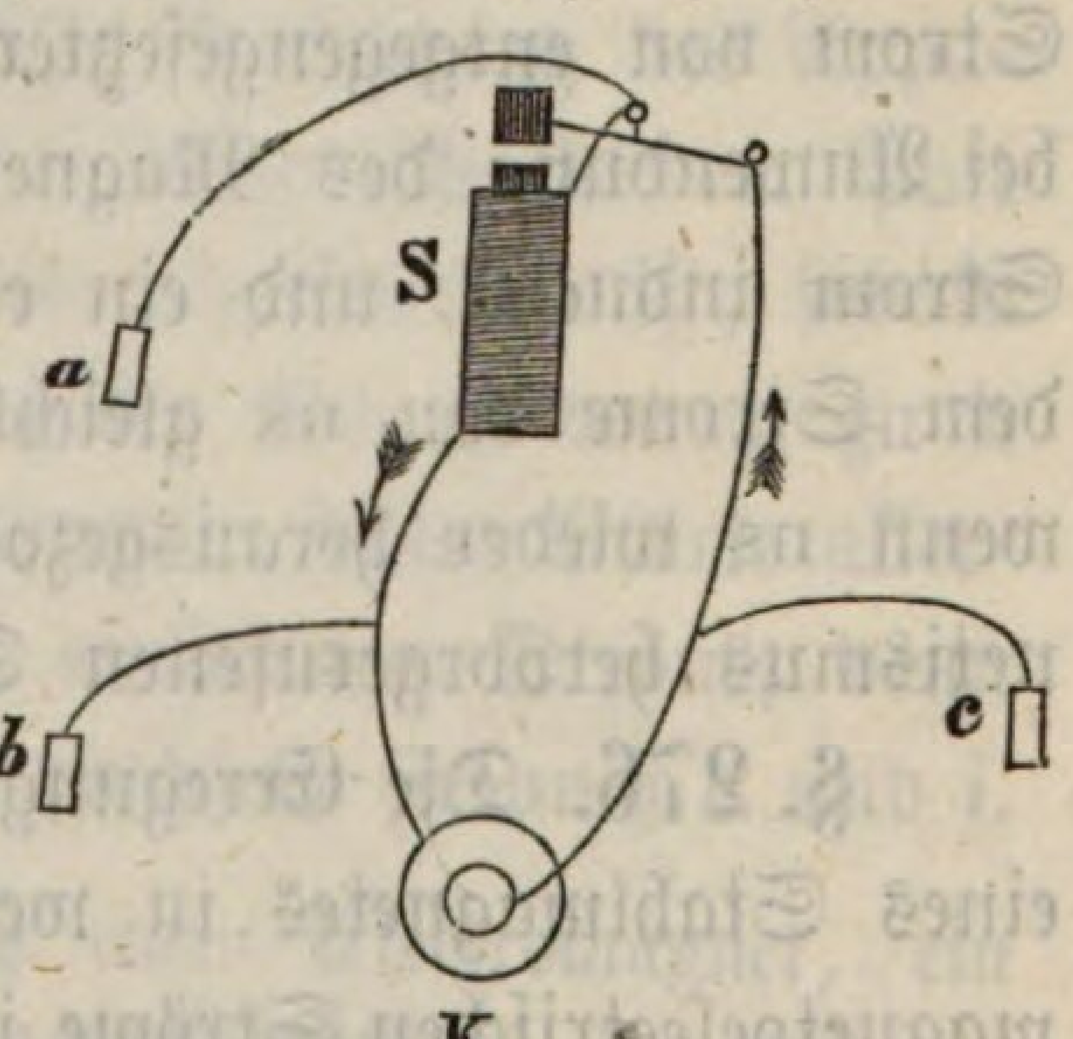


Fig. 296.

die Metallcylinder a und b oder a und c in der Hand hält, so geht der Extrastrom in der Richtung Sba oder Sca durch den Körper. Würde man jedoch b und c in die Hand nehmen, so würde wohl der Hauptstrom, nicht aber der in der Spirale gebildete Extrastrom durch den Körper geschlossen, und man bekäme daher keinen Schlag. Man erhält also die physiologische Wirkung eines inducirten Stromes unter Anwendung einer einzigen Spirale; diesen Strom fühlt man aber nur bei dem Oeffnen, also halb so oft als im vorhergehenden Falle.

§. 275. Schiebt man in eine hohle Spirale S (Fig. 297) einen Magnetcylinder ns, oder erregt man in einem in der Spirale steckenden Stabe von weichem Eisen durch Annäherung eines Magnetes eine Vertheilung der Magnetismen, so wird in der Spirale ein Strom inducirt, der mit Hülfe eines mit den beiden Enden der Spirale verbundenen Multiplicators M bezüglich seiner Richtung bestimmt werden kann. So lange der Magnet in der Spirale steckt, gewahrt man keine weitere Wirkung, der inducirte Strom ist also wieder nur ein momentaner; wenn man aber den Magnet wieder entfernt, so zeigt der Multiplicator wieder einen momentanen Strom an, dessen Richtung der des vorhergehenden entgegengesetzt ist. Nach der Ampère'schen Theorie sind die kleinen Theilchen des Magnetes ns von electrischen Strömen umkreist, deren Resultirende als ein in der Richtung der Pfeile gehender Strom betrachtet werden kann. Würde man statt des Magnetes eine Spirale anwenden, die von einem in gleicher Richtung laufenden Strome durchzogen ist, so würde in der mit dem Multiplicator M verbundenen Spirale ein Strom von entgegengesetzter Richtung inducirt. Das Gleiche tritt ein bei Anwendung des Magnetes ns, es wird auch hier ein momentaner Strom inducirt, und ein eben solcher, aber von entgegengesetzter also dem Strome von ns gleichlaufender Richtung kommt zum Vorschein, wenn ns wieder herausgezogen wird. Die so durch Hülfe des Magnetismus hervorgerufenen Ströme heißen magnetoelectrische.

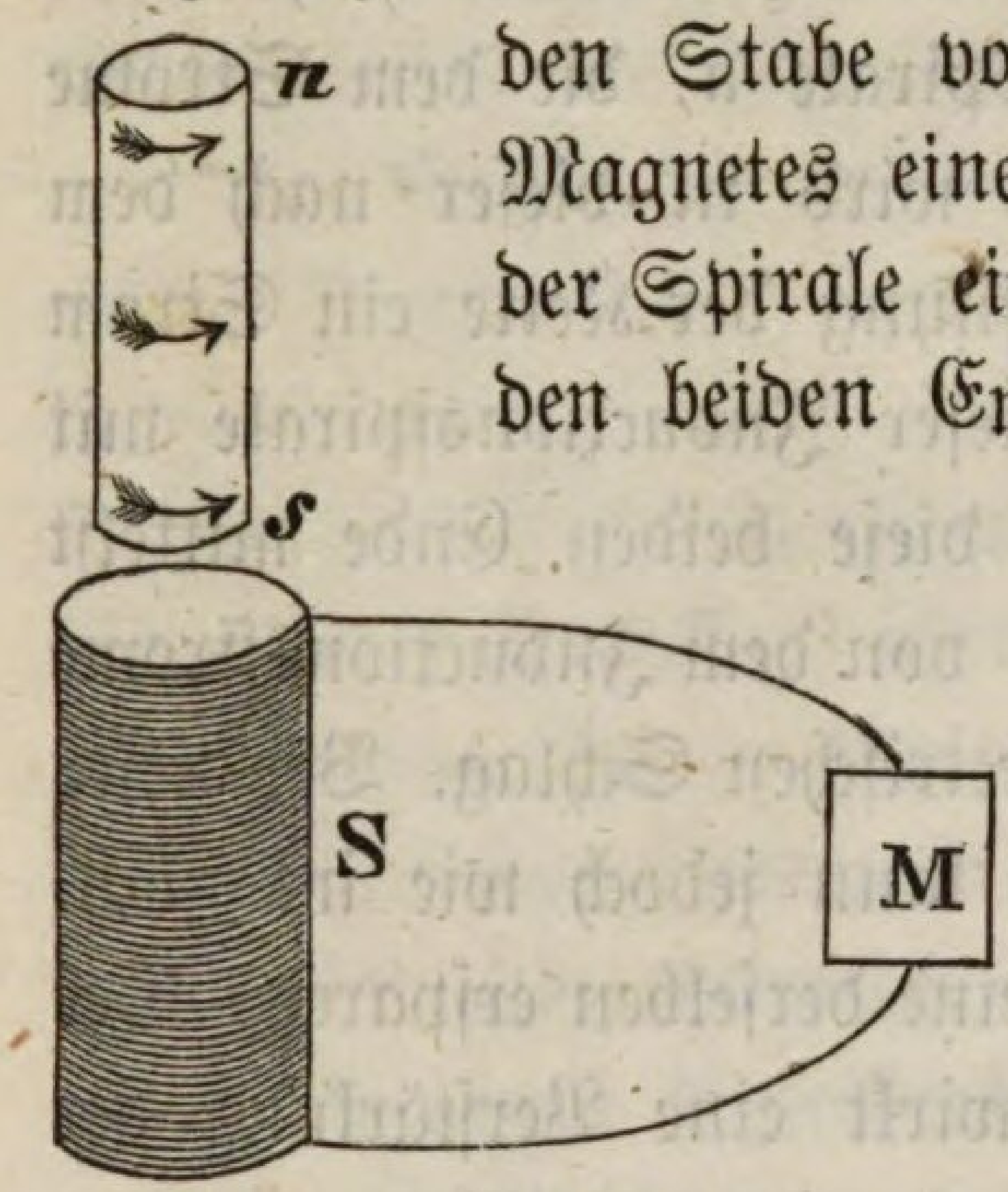


Fig. 297.

§. 276. Die Erregung des Magnetismus, welche bei Annäherung eines Stahlmagnetes in weichem Eisen erzielt wird, dient dazu, die magnetoelectrischen Ströme in größerer Quantität hervorzubringen. An einer Platte von weichem Eisen a (Fig. 298) sind 2 Eisencylinder bb

befestigt, welche mit Spiralen AB von übersponnenem Drahte versehen sind. Die Platte a ist um eine Axe nd drehbar, und so können die Eisencylinder bb abwechselnd den Polen S und N eines starken Stahlmagnetes gegenübergestellt, dieselben also nach einander verschieden magnetisch gemacht werden. Die Platte a mit den Cylindern bb bildet so einen Anker des Stahlmagnetes SN, in dem die Vertheilung der Magnetismen abwechselnd die entgegengesetzte ist. Bei der Annäherung des Ankers an die in der Figur angegebene Stellung entsteht in den beiden Spiralen ein Strom, welcher da der sie bildende Draht durch die Verbindungsstücke d, dann e, g und die festen um den Multiplicator M gehenden h und i geschlossen ist, die Multiplicatornadel ablenkt. Die Stärke dieses Stromes ist verschieden, sie erreicht ihren größten Werth, wenn die Stellung der Figur erreicht ist.

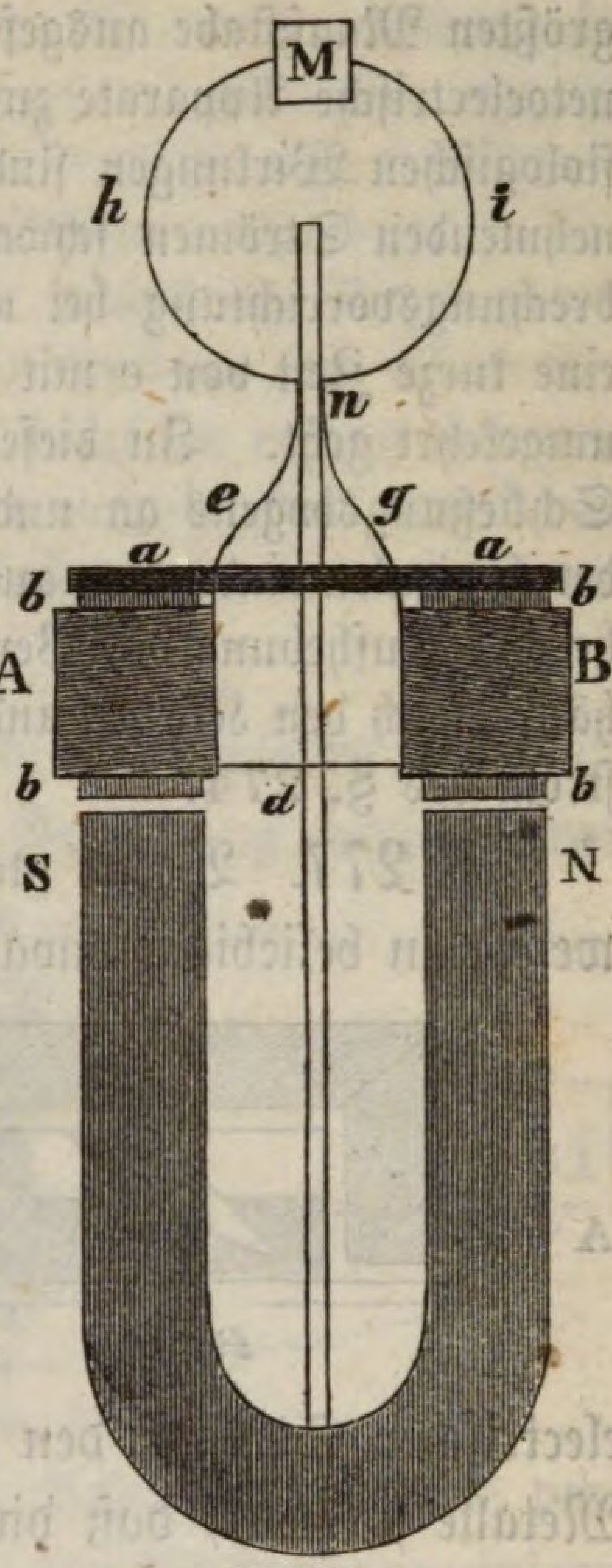


Fig. 298.

Entfernen sich die beiden Cylinder von dieser Stellung, nähern sie sich also der entgegengesetzten, so ist die Richtung des Stromes in den Spiralen die entgegengesetzte, und wenn wieder e mit h, g mit i in leitender Verbindung stehen, bekommt die Multiplicatornadel wieder die erste Richtung. Sind aber die Drahtstücke h und i fest, während e und g mit der Axe und den Spiralen herumgehen, so ist, wenn B und S dann A und N einander gegenüber sind, g mit h, e mit i in Berührung und es entsteht auch in diesem Falle ein Strom von gleicher und nicht von entgegengesetzter Richtung. Die Einrichtung des Apparates ist nun in der Weise getroffen, daß so lange sich A dem Pole S oder B dem Pole N nähert, e mit h, g mit i verbunden ist; sobald aber diese Stellung erreicht wird, geht bei n der Strom von g zu h und e zu i über, und dadurch erzielt man einen in seiner Stärke allerdings wechselnden, in seiner Richtung aber constanten Strom, denn wenn die Spiralen die Pole austauschen, so wechseln sie auch h und i.

Ersetzt man den Multiplicator M durch einen Electromagnet, ein Voltameter u. s. w., so erhält man die verschiedenen Wirkungen, die auch der Strom der galvanischen Kette zeigt. In Frankreich und England werden im

größten Maaßstabe ausgeführte und durch Dampfmaschinen getriebene magnetoelectrische Apparate zur Herstellung des Kohlenlichtes benützt. Die physiologischen Wirkungen sind wie überhaupt bei langsam wachsenden und abnehmenden Strömen schwach; sie werden aber verstärkt, wenn die Unterbrechungsvorrichtung bei n so gestellt ist, daß der Strom bei dem Wechsel eine kurze Zeit von e mit Umgehung der Leitung h und i direct nach g und umgekehrt geht. In diesem Falle ist der Strom durch die Abkürzung des Schließungsbogens an und für sich stärker und die gegenseitigen Wirkungen der Spiralenwindungen auf einander erzeugen einen Extrastrom. Dieser geht bei der Aufhebung der Verbindung eg, wenn man h und i in den Händen hält, durch den Körper und übt die gleichen Wirkungen aus wie der Extrastrom des §. 274.

§. 277. Wenn man zwei Streifen von verschiedenen Metallen, welche in beliebiger etwa in der durch die Fig. 299 angegebenen Weise gebogen und an den Stellen A und B zusammengelöthet sind, an der einen Löthstelle in eine andere Temperatur versetzt als an der andern, so entsteht in ihnen ein electrischer Strom, den man dadurch nachweisen kann, daß man die Metalle so stellt, daß die Richtung AB mit der des magnetischen Meridians zusammenfällt, und in die Höhlung eine auf einer feinen Spitze leicht drehbare Magnetnadel stellt. Sowie die eine Löthstelle erwärmt oder erkältet wird, so entfernt sich die Nadel in Folge des Stromes aus dem magnetischen Meridian, und der Sinn der Ablenkung läßt nach der Ampère'schen Regel §. 262 die Richtung des Stromes erkennen. Diese Ablenkung ist je nach der Wahl der Metalle verschieden, und wie man (§. 253) eine Reihe von Metallen aufstellen kann, in welcher immer das voranstehende mit jedem der nachfolgenden bei der Berührung positiv electrisch wird, so gelingt dieses auch für den Fall, daß man die electrische Differenz durch Erwärmung oder Erkältung der einen Löthstelle hervorbringen will. Die thermoelectrische Reihenfolge der Metalle ist eine andere, als die für die Berührung geltende. In der Reihe

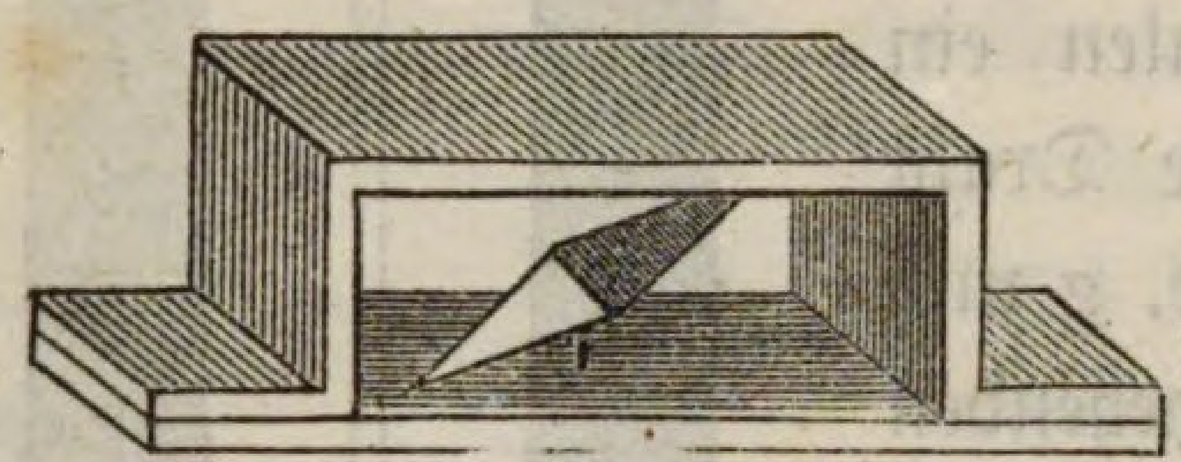


Fig. 299.

Antimon	Gold	Silber
Eisen	Kupfer	Platin
Zink	Blei	Wismuth

geht der positive Strom an der erwärmten Löthstelle stets von dem in der Reihe tiefer stehenden Metalle zu dem höher stehenden, und unter sonst gleichen Umständen ist der bei Anwendung von Antimon und Wismuth erregte Strom der stärkste. Abkühlung der einen Löthstelle hat denselben Erfolg als wie Erwärmung der andern.

Hat man die Löthstelle zwischen Antimon und Wismuth erwärmt, so geht der Strom also an dieser von dem Wismuth zu dem Antimon, er geht bei Abkühlung in entgegengesetzter Richtung. Hier entsteht also ein Strom durch Temperaturänderung. Ist umgekehrt der Strom vorhanden, so bekommt man eine Aenderung der Temperatur, die je nach der Richtung des Stromes verschieden ist. Geht der Strom von dem Antimon zum Wismuth, so wird die Temperatur erhöht, und sie wird erniedrigt im entgegengesetzten Falle. Es darf jedoch hiebei der angewandte Strom nicht zu stark genommen werden, weil sonst die als Folge des Leitungswiderstandes auftretende Temperaturerhöhung (§. 264) störend entgegenwirkt.

§. 278. Der Apparat Fig. 300 stellt ein Kettenelement dar, in welchem die bei der gewöhnlichen Kette bei Berührung verschiedener Metalle auftretende Electricitäts = Quelle durch die ungleiche Erwärmung der Löthstellen ersetzt ist. Auch hier ist die durch das Element hervorgerufene Spannung nur klein; letztere kann aber nach Analogie der Kette vergrößert werden, wenn man mehrere Elemente ihre Wirkung vereinigen läßt. Eine solche Kette ist durch Fig. 300 vorgestellt. Es ist immer ein Wismuthstäbchen an jedem Ende mit je einem Antimonstäbchen zusammengelöthet, die Endglieder stehen mit den zu einem Multiplicator M führenden Drähten in Verbindung. Bringt man nun auf der Seite A eine Wärmequelle an, so entsteht ein Strom, der weil er an der Löthstelle stets von dem Wismuth zum Antimon übergeht, von dem letzten Antimonstäbchen aus den Multiplicator umwandert. Gewöhnlich ist die Anordnung der Kettenglieder so getroffen, daß die Elemente nicht in einer einzigen Reihe stehen wie in Fig. 400, sondern daß mehrere solche Reihen sich neben einander befinden. Der Zwischenraum zwischen den einzelnen Stäbchen, die nur an den Löthstellen in leitender Verbindung mit einander sein dürfen, wird meistens mit Gyps ausgegossen; die aus dem Gypse hervorragenden die Löthstellen enthaltenden Stabenden werden behufs leichterer Aufnahme der Wärme mit Kienruß überzogen, weil dieser die Wärmestrahlen absorbirt, welche sonst von den Metallen wenigstens theilweise reflectirt würden.

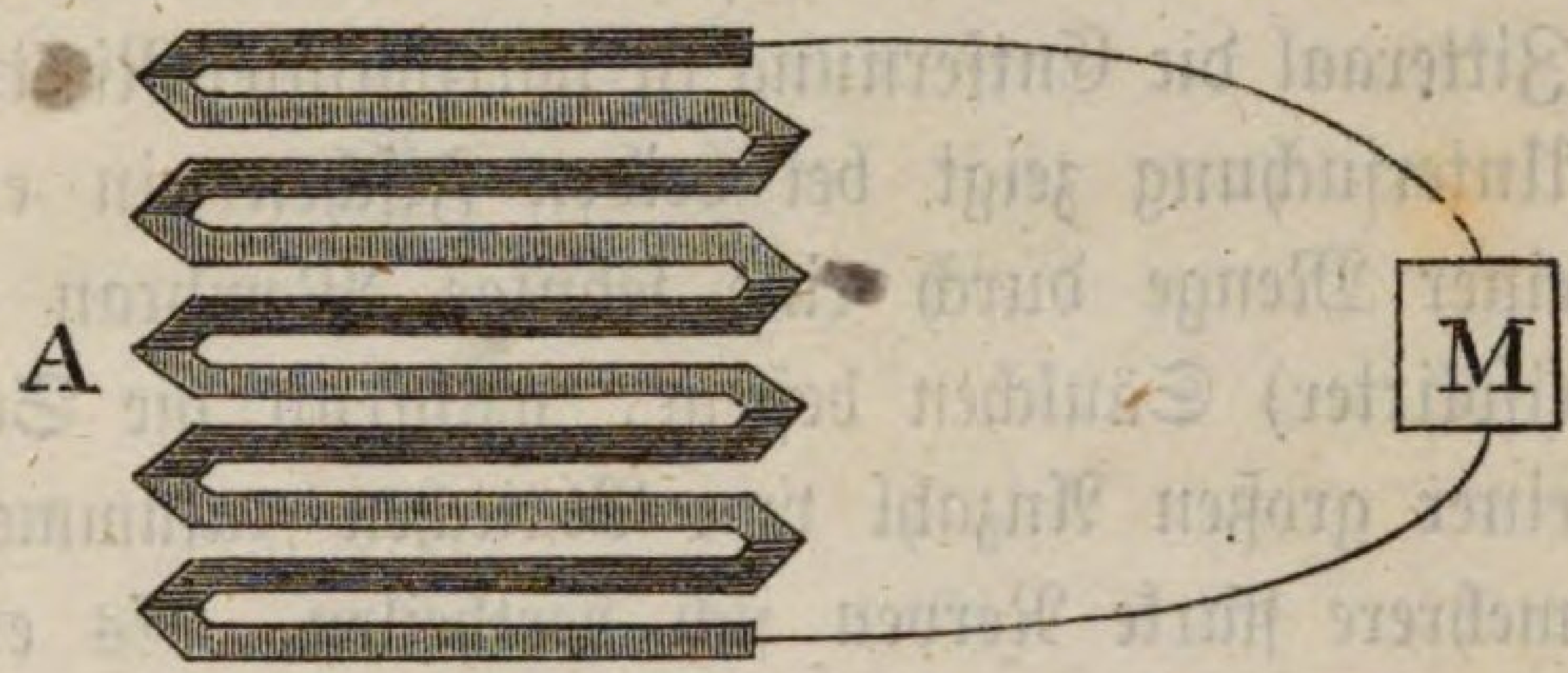


Fig. 300.

Die thermoelectrische Säule ist das empfindlichste Instrument, welches wir zur Zeit behufs Wahrnehmung und Messung von Wärme=

strahlen besitzen. Dieses Instrument ist es, durch welches die Eigenschaften der Wärmestrahlen aufgefunden werden konnten, von denen im §. 208 gesprochen wurde.

§. 279. Es gibt eine Anzahl Fische, unter denen der im mittelländischen und im atlantischen Meere vorkommende Zitterrochen und der Zitteraal, welcher in einigen Flüssen Guyana's lebt, die bekanntesten sind, welche willkürlich electrische Schläge zu geben vermögen. Diese Schläge empfängt man, wenn man die Fische unmittelbar oder durch Vermittlung eines Leiters berührt; ihre Stärke wächst, wenn man den Zitterrochen an zwei möglichst entfernten Puncten berührt, von denen der eine höher als der andere liegt, während bei dem Zitteraal die Entfernung in horizontaler Richtung maaßgebend ist. Die Untersuchung zeigt bei beiden Fischen ein eigenes Organ, das aus einer Menge durch eine sehnige Membran von einander getrennter (isolirter) Säulchen besteht, während die Säulchen selbst wieder aus einer großen Anzahl von Blättchen zusammengefügt sind, in welche mehrere starke Nerven sich vertheilen. Es entsteht hiedurch eine der Construction der Volta'schen Säule analoge Bildung. Die Säulchen stehen bei dem Zitterrochen vertical, bei dem Zitteraal horizontal. Verbindet man die beiden Ende der Organe durch Metalldrähte, so erhält man dieselben Erscheinungen, welche die Pole einer Volta'schen Säule geben; man erhält Funken, Ablenkung der Magnetnadel u. s. w.

Auch in den übrigen Thieren kommen, wenn auch das eigene electrische Organ fehlt, electrische Ströme vor, wie schon Galvani lehrte. So hat Nobili gezeigt, daß wenn man den Kopf und die Füße eines frisch getödteten oder lebenden Frosches mit einem sehr empfindlichen Multiplicator verbindet, ein Strom von dem Kopfe zu den Füßen geht. Auch wenn man in einen Muskel eines Thieres einen Einschnitt macht und den äußern Muskel mit der Schnittfläche durch den Multiplicator verbindet, kommt ein Strom zum Vorschein.

Du Bois-Reymond hat diese Ströme näher untersucht und unter Anderm gefunden, daß durch Anstrengung der Muskeln nach Willkür electrische Ströme hervorgerufen werden können.

Blutm